



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I ENERGETYKI
ul. Piotrowo 5, 61-138 Poznań
tel.: +48 (61) 665 24 10, +48 (61) 665 24 12
www.isie.put.poznan.pl



mgr inż. Katarzyna PAŁASZYŃSKA

***Sterowanie energooptymalne systemami ogrzewania
i chłodzenia ze stropami aktywowanymi termicznie
współpracującymi z wentylacją w budynkach
edukacyjnych***

Rozprawa Doktorska

Promotor:

dr hab. inż. Mieczysław Porowski, prof. PP

Promotor pomocniczy:

dr inż. Karol Bandurski

Poznań, wrzesień 2024

Podziękowania

*Składam serdeczne podziękowania Promotorowi,
Panu dr hab. inż. Mieczysławowi Porowskiemu, prof. PP,
za poświęcony czas i pomoc w realizacji tej pracy.*

*Dziękuję Promotorowi Pomocniczemu,
dr inż. Karolowi Bandurskiemu,
za cenne uwagi i wsparcie przy symulacjach w TRNSYS17.*

*Dziękuję mojej Mamie, Mężowi i Dzieciom
za cierpliwość, zrozumienie i wyrozumiałość.*

SPIS TREŚCI

SPIS TREŚCI	5
STRESZCZENIE	7
ABSTRACT	8
Wykaz ważniejszych oznaczeń	9
1. Wprowadzenie i geneza podjęcia badań.....	11
2. Stan badań nad systemami HVAC ze stropami aktywowanymi termicznie.....	12
2.1. Struktury układów.....	16
2.2. Algorytmy sterowania.....	16
3. Problem badawczy, cel, zakres i tezy pracy	18
3.1. Problem badawczy	18
3.2. Cel, zakres i tezy pracy	19
4. Zagadnienie energooszczędnego sterowania systemem TABS i wentylacji budynków edukacyjnych	20
4.1. Struktura zagadnienia, algorytm ogólny	20
4.2. Funkcja celu	24
4.3. Metoda rozwiązania	25
4.3.2. Metoda UBB dla pomieszczenia z TABS - współczynniki kierunkowe krzywych grzania i chłodzenia	25
4.3.3. Zmienne decyzyjne	29
4.3.4. Warianty sterowania i hipotezy badawcze	30
4.3.5. Bilans obciążeń termicznych dla pomieszczeń,	32
5. Aplikacja metody rozwiązania zagadnienia współpracy systemu HVAC z TABS i wentylacji w budynku edukacyjnym	34
5.1. Zakres zagadnienia - charakterystyka ogólna.....	34
5.2. Model geometryczny i technologiczny pomieszczenia	34
5.2.1. Model geometryczny.....	34
5.2.2. Parametry termoizolacyjne obudowy	36
5.2.3. Weryfikacja modelu geometrycznego.....	37
5.2.4. Parametry komfortu cieplnego i jakości powietrza	42
5.2.5. Harmonogramy użytkowania	43
5.2.6. Warianty obciążeń chłodniczych.....	44
5.3. Model symulacyjny działania systemu HVAC z TABS i systemu wentylacji.....	45
5.3.1. Założenia i dane wejściowe.....	45
5.3.2. Warianty współpracy systemu TABS i wentylacji.....	47

5.4.	Krzywe grzania i chłodzenia, metoda wyznaczania	48
5.4.1.	Współczynniki kierunkowe krzywych grzania i chłodzenia, metoda UBB	48
5.4.2.	Symulacja obciążeń termicznych, dopuszczalne przedziały wartości temperatury przełączenia dla funkcji grzania i chłodzenia.....	51
5.4.3.	Zbiór zmiennych decyzyjnych, krzywe grzania i chłodzenia	54
5.5.	Warunki ograniczające, parametry komfortu cieplnego	56
5.6.	Wyniki symulacji, sterowanie energoptymalne.....	57
5.6.1.	System HVAC z TABS i wentylacją higieniczną (DCV)	58
5.6.2.	System HVAC z TABS i wentylacją higieniczną i na potrzeby odprowadzenia obciążeń termicznych (VAV), dla stałego obciążenia (harmonogram C2).....	62
5.6.3.	System HVAC z TABS i wentylacją higieniczną i na potrzeby odprowadzenia obciążeń termicznych (VAV), dla zmiennego obciążenia (harmonogramy: C3, C4, C5, C6).....	86
5.7.	Wybór wariantu optymalnego	96
6.	Podsumowanie.....	102
6.1.	Synteza wyników i wniosków	102
6.2.	Implikacje inżynierskie	104
6.3.	Propozycje dalszych prac	105
	Literatura	106
	Załączniki	112
	<i>Z1 Badania subiektywne i obiektywne w wybranym pomieszczeniu dydaktycznym</i>	<i>112</i>
	<i>Z2 Tabelaryczne zestawienie wariantów symulacji</i>	<i>163</i>

STRESZCZENIE

W rozprawie podjęto się opracowania metody energooszczędnego sterowania systemami HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning -Ogrzewanie, Wentylacja i Klimatyzacja) z TABS (*Thermally Activated Building Systems*- Systemy Aktywacji Termicznej Konstrukcji Budynku) w budynkach edukacyjnych. Budynki edukacyjne charakteryzują się dynamicznie zmieniającymi się intensywnymi obciążeniami chłodniczymi w ciągu dnia pracy (zmienna liczba osób), oraz różnorodnym, sezonowym harmonogramem użytkowania. Przegrodą podlegającą aktywacji jest strop pomiędzy kondygnacjami.

Celem rozprawy jest opracowanie metody sterowania TABS przy równoczesnym wykorzystaniu wentylacji do odprowadzenia części obciążeń termicznych dla zapewnienia parametrów komfortu cieplnego w założonych przedziałach, przy minimalnych nakładach energetycznych.

Opracowano metodę sterowania systemem HVAC z TABS, będącą rozwinięciem metody sterowania UBB (*Unknown-But-Bounded* – nieznaną, ale ograniczoną [profil obciążeń]). Wyznaczono zbiór dopuszczalnych krzywych grzania i chłodzenia dla TABS. Następnie - rozwiązując zagadnienie optymalizacyjne - wyznaczono na podstawie funkcji celu (minimum zapotrzebowania na energię pierwotną do odprowadzenia obciążeń termicznych w pomieszczeniu) taką parę krzywych grzania i chłodzenia, dla której funkcja celu osiąga minimum.

W ramach części aplikacyjnej pracy opracowano model symulacyjny z wykorzystaniem narzędzia TRNSYS17, w którym uwzględniono różne warunki otoczenia, dwie orientacje ścian zewnętrznych pomieszczenia oraz dwa warianty pracy wentylacji: DCV (*Demand-Controlled Ventilation* - wentylacja która dostosowuje strumień dostarczanego świeżego wg kryterium higienicznego) oraz VAV (*Variable Air Volume* - wentylacja o zmiennym strumieniu powietrza w funkcji odprowadzenia obciążeń termicznych). Weryfikację modelu wykonano na podstawie dostępnych danych empirycznych.

W przypadku systemu HVAC z TABS i DCV (TABS+DCV) we wszystkich rozważanych scenariuszach dopuszczalny czas dyskomfortu cieplnego był przekroczony. Najdłużej oczekiwany przedział temperatury operatywnej utrzymywał się przez 14% czasu (80% całkowitego czasu-przegrzanie, 6% - przechłodzenie).

Otrzymane wyniki badań symulacyjnych potwierdziły, że sterowanie systemem HVAC z TABS i VAV (TABS+VAV) z wykorzystaniem wyznaczonych dopuszczalnych krzywych grzania i chłodzenia pozwala na znaczną redukcję czasu przechłodzenia lub przeegrzania pomieszczenia, oraz eliminację gwałtownych zmian temperatury. Czas, w którym temperatura operatywna mieści się w przedziale komfortowym osiąga nawet 94%.

Wykazano, iż opracowany algorytm sterowania umożliwia kontrolowanie temperatury operatywnej powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach z uwzględnieniem dynamicznych zmian wewnętrznych obciążeń cieplnych. Dzięki czemu systemy HVAC z (TABS+VAV), w których wentylacja odprowadza część obciążeń termicznych mogą w bardziej efektywny sposób reagować na zmiany warunków, co przekłada się na lepszy komfort wewnętrzny.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono ponadto, iż dla sterowania optymalnego (optymalnej pary krzywych grzania i chłodzenia) zapotrzebowanie na energię pierwotną dla odprowadzenia obciążeń termicznych (funkcja celu) jest mniejsze o 3÷5% w stosunku do pozostałych sterowań dopuszczalnych, w zależności od przyjętego wariantu przełączenia trybu pracy stropu aktywowanego termicznie.

Wykazano również, że nie istnieje jedno optymalne sterowanie (para krzywych grzania i chłodzenia) odpowiednie dla całego budynku, ale opracowana metoda pozwala na wyznaczenie sterowań optymalnych indywidualnie dla poszczególnych stref budynku.

ABSTRACT

In this dissertation, a method for energy-optimal control of HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) systems with TABS (Thermally Activated Building Systems) in educational buildings is developed. Educational buildings are characterized by dynamically changing cooling loads throughout the day (variable number of occupants) and diverse, seasonal usage schedules. The element subject to activation is the ceiling between floors.

The aim of the dissertation is to develop a method for controlling TABS by utilizing ventilation to remove part of the thermal loads to ensure thermal comfort parameters within predefined ranges with minimal energy expenditure.

A method for controlling an HVAC system with TABS was developed, which is an extension of the UBB (Unknown-But-Bounded) control method – resulting in the determination of a set of permissible heating and cooling curves for TABS. Subsequently, by solving an optimization problem, a pair of heating and cooling curves was determined based on the objective function (minimization of primary energy demand to remove thermal loads in the room), for which the objective function reaches a minimum.

As a part of the application section of the work, a simulation model was developed using the TRNSYS17 tool, which considered various environmental conditions, two orientations of the room's external walls, and two variants of ventilation operation: DCV (Demand-Controlled Ventilation, which adjusts the supply of fresh air based on the current needs of the building or room) and VAV (Variable Air Volume ventilation). Validation was performed based on available empirical data.

In the case of the HVAC system with DCV (TABS+DCV), none of the considered scenarios achieved a satisfactory duration where the room temperature remained within the comfort range. The longest expected range of operative temperature was maintained for 14% of the time (80% of the total time – overheating, 6% – undercooling).

The obtained simulation results confirmed that controlling the HVAC system with VAV (TABS+VAV) using the determined permissible heating and cooling curves allows for a significant reduction in the time of room overcooling or overheating, as well as the elimination of rapid temperature changes. The time during which the operative temperature remains within the comfort range is up to 94%.

It has been demonstrated that the developed control algorithm allows for controlling indoor air temperature in rooms considering dynamic changes in internal loads. As a result, HVAC systems with (TABS+VAV), in which ventilation removes part of the thermal loads, can respond more effectively to changing conditions, leading to better indoor comfort.

Based on the obtained results, it was also found that for optimal control (optimal pair of heating and cooling curves), the primary energy demand for removing thermal loads (objective function) is 3-5% lower compared to other permissible controls, depending on the adopted switching variant of the thermally activated ceiling mode.

It was also demonstrated that there is no single optimal control (pair of heating and cooling curves) suitable for the entire building, but the developed method allows for the determination of optimal controls individually for each zone of the building.

Wykaz ważniejszych oznaczeń

- ε – emisyjność promieniowania długofalowego;
- λ – współczynnik przewodzenia ciepła; W/mK
- ρ – gęstość; kg/m³
- A – powierzchnia; m²
- c_p – pojemność cieplna; J/kgK
- d – grubość warstwy; m
- E_p – Zapotrzebowanie na energię pierwotną; Wh
- i – zagęszczenie osób; os/m²
- \dot{m}_{CO_2} – strumień CO₂; $\frac{dm^3 CO_2}{h}$
- N – iloraz mas molowych pary wodnej i powietrza;
- p_a – ciśnienie atmosferyczne; Pa
- p_o – ciśnienie cząstkowe pary wodnej; Pa
- p_w – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu; Pa
- q_c – całkowite obciążenie systemu HVAC; W/m²
- $q_{c,TABS}$ – część całkowitego obciążenia odprowadzana przez TABS; W/m²
- $q_{c,(DCV+VAV)}$ – część całkowitego obciążenia odprowadzana przez system powietrzny (DCV+VAV); W/m²
- q_j – jednostkowe zyski ciepła jawnego; $\frac{W}{os}$
- q – zyski ciepła jawnego; W/m²
- q''_{surf} – strumień ciepła na odsłoniętej powierzchni chłodzącej; (W/m²)
- $q''_{surf,conv}$ – konwekcyjne przejmowanie ciepła przez odsłoniętą powierzchnię chłodzącą; (W/m²)
- $q''_{lw,surf}$ – strumień promieniowania długofalowego netto do radiacyjnej powierzchni czynnej z innych powierzchni; (W/m²)
- $q''_{surf,rad}$ – radiacyjne przewodzenie ciepła przez odsłoniętą powierzchnię chłodzącą; (W/m²)
- $q''_{surf,cond}$ – przewodzenie ciepła przez odsłoniętą powierzchnię chłodzącą; (W/m²)
- $q''_{lw,int}$ – strumień ciepła na bazie promieniowania długofalowego w wyniku obciążeń wewnętrznych; (W/m²)
- $q''_{sw,sol}$ – strumień promieniowania słonecznego pochłonięty na powierzchni; (W/m²)
- $q''_{sw,int}$ – strumień promieniowania krótkofalowego netto do powierzchni aktywnej z obciążenia wewnętrznego (np. światła), (W/m²)
- $Q_{H/C,TABS/AIR}$ – moc na potrzeby ogrzewania (H) lub chłodzenia (C) pomieszczenia dostarczona poprzez system TABS lub powietrzny (AIR); [W]
- R – opór przejmowania ciepła; m²K/W
- U – współczynnik przenikania ciepła przegrody; m²K/W
- \dot{V}_c – całkowity strumień powietrza; m³/h
- p_a – ciśnienie atmosferyczne; Pa
- p_o – ciśnienie cząstkowe pary wodnej; Pa
- p_w – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu; Pa
- $Q_{H/C,TABS/AIR}$ – moc na potrzeby ogrzewania (H) lub chłodzenia (C) pomieszczenia dostarczona poprzez system TABS lub powietrzny (AIR); [W]

- $w_{H,TABS}$ – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej, dla grzania, przez TABS,
- $w_{H,AIR}$ – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej, dla grzania, przez system powietrzny,
- $w_{C,TABS}$ – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej, dla chłodzenia, przez TABS,
- $w_{C,AIR}$ – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej, dla chłodzenia, przez system powietrzny,
- x – zawartość wilgoci w powietrzu; $\frac{kg}{kg \text{ powietrza suchego}}$
- $\eta_{H,TABS}$ – średnia sezonowa całkowita sprawność ogrzewania za pomocą systemu TABS,
- $\eta_{H,AIR}$ – średnia sezonowa całkowita sprawność ogrzewania za pomocą systemu powietrznego,
- $\eta_{C,TABS}$ – średnia sezonowa całkowita sprawność chłodzenia za pomocą systemu TABS,
- $\eta_{C,AIR}$ – średnia sezonowa całkowita sprawność wytwarzania chłodu za pomocą systemu powietrznego,
- $SEER$ – średni sezonowy współczynnik efektywności energetycznej wytwarzania chłodu z nośnika energii lub energii dostarczanych do źródła chłodu
- $\eta_{C,e}$ – średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w przestrzeni ogrzewanej,
- $\eta_{C,e}$ – średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania chłodu w przestrzeni chłodzonej,
- $\eta_{C,d}$ – średnia sezonowa sprawność przesyłu chłodu ze źródła chłodu do przestrzeni chłodzonej,
- $\eta_{C,s}$ – średnia sezonowa sprawność akumulacji chłodu w elementach pojemnościowych systemu chłodzenia,
- $\eta_{H,g}$ – średnia sezonowa sprawność wytwarzania ciepła z nośnika energii lub energii dostarczanych do źródła ciepła,
- $\eta_{H,e}$ – średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w przestrzeni ogrzewanej,
- $\eta_{H,d}$ – średnia sezonowa sprawność przesyłu ciepła ze źródła ciepła do przestrzeni ogrzewanej,
- $\eta_{H,s}$ – średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu ogrzewania,
- φ – wilgotność względna powietrza, %

1. Wprowadzenie i geneza podjęcia badań

Podjęcie niniejszego tematu pracy badawczej zostało zainicjowane rosnącą popularnością systemów TABS (Thermally Activated Building Systems, Systemy Aktywacji Termicznej Konstrukcji Budynku) co wynika z szeregu czynników, m.in. z dążenia do zwiększenia efektywności energetycznej budynków zgodnie z celami wyznaczonymi w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie efektywności energetycznej [52]. Mają one obiecujący potencjał w kontekście przyszłych trendów w budownictwie, zwłaszcza w obliczu coraz surowszych norm energetycznych dla budynków nisko i niemal zero energetycznych [17, 53]. Systemy te opierają się na niskotemperaturowych instalacjach grzewczych i wysokotemperaturowych instalacjach chłodniczych zintegrowanych z konstrukcją budynku, wykorzystując akumulację ciepła w przegrodach budowlanych w celu efektywnego ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń przy ograniczeniu zużycia energii i kosztów eksploatacji.

Dotychczasowe zastosowania systemów TABS skupiały się głównie na budynkach biurowych. Budynki edukacyjne, w których uczniowie spędzają znaczną część swojego czasu (nawet 6-8 godzin dziennie) [36], wymagają szczególnej troski o komfort termiczny i jakość powietrza [60, 63, 76]. Aktualnie obserwuje się coraz większą liczbę tego typu budynków wykonywanych z wykorzystaniem technologii aktywacji termicznej przegród budowlanych.

W obiektach biurowych i użyteczności publicznej parametry użytkownika są dość przewidywalne. W przypadku budynków edukacyjnych pojawiają się nowe wyzwania związane ze zmienną liczbą użytkowników i dynamicznymi obciążeniami termicznymi.

W porównaniu do budynków biurowych, gdzie liczba osób w pomieszczeniu jest stosunkowo stała (8-10 m²/osobę) i godziny ich przebywania są przewidywalne, w budynkach edukacyjnych obserwuje się:

1. **Dynamiczne zmiany liczby osób w pomieszczeniach:** gwałtowny wzrost obciążeń termicznych po wejściu dużej liczby osób (np. na lekcje, zajęcia).
2. **Zmienność wartości bezwzględnych obciążeń termicznych:** w przeciwieństwie do stosunkowo niskich i stabilnych wartości w budynkach biurowych, w budynkach edukacyjnych obciążenia termiczne ulegają znacznym fluktuacjom.

Systemy TABS bazujące na akumulacji ciepła w przegrodach/stropach nie są w stanie dynamicznie kompensować gwałtownych zmian obciążeń termicznych w krótkim czasie, co stanowi problem w przypadku budynków edukacyjnych. Literatura naukowa jednoznacznie wskazuje na znaczenie komfortu termicznego dla procesu uczenia się. Badania dowodzą, że osoby uczące się preferują chłodniejsze otoczenie [24]. Optymalna temperatura w budynkach szkolnych zależy od wielu czynników, takich jak wiek uczniów, rodzaj wykonywanej pracy, pora roku i strefa klimatyczna. Adaptacja do zmian temperatury w pomieszczeniu zachodzi u uczniów stopniowo, a okres potrzebny na dostosowanie się do zmiany średniej temperatury powietrza na zewnątrz wynosi około tygodnia [66].

Oprócz komfortu termicznego kluczową rolę odgrywa również odpowiednia jakość powietrza w pomieszczeniach. Wentylacja mechaniczna powinna być standardem w budynkach edukacyjnych, nie tylko ze względu na komfort, ale również z uwagi na ryzyko rozprzestrzeniania się chorób przenoszonych drogą powietrzną wirusy takie jak COVID-19 czy SARS-CoV-2 mogą być przenoszone przez drobne cząsteczki oddechowe (aerozole), które w pomieszczeniach o niewystarczającej wentylacji unoszą się w powietrzu przez dłuższy czas i pokonują większe odległości. Badania wykazują, że uruchomiona wentylacja mechaniczna znacząco redukuje ilość zanieczyszczeń w powietrzu, przyczyniając się do ochrony zdrowia uczniów i personelu [3, 8].

Przeprowadzona analiza dostępnej literatury pozwoliła ocenić specyficzne potrzeby uczniów i studentów w zakresie preferowanych warunków w salach zajęciowych [60].

W szkołach, gdzie systemy wentylacji są niedostateczne, stężenie ditlenku węgla często przekracza dopuszczalne normy i negatywnie wpływa na samopoczucie i efektywność uczniów. Brak odpowiedniej wentylacji może prowadzić do wysokiego stężenia zanieczyszczeń powietrza, takich jak lotne związki organiczne (LZO) czy pyły zawieszone, a to zwiększa ryzyko problemów zdrowotnych, takich jak astma czy inne schorzenia układu oddechowego. [4, 35, 60, 63].

Konieczność stosowania wentylacji w budynkach szkolnych została także udowodniona w [20] gdzie podjęto się opracowania metody sterowania otwieraniem okien w celu naturalnej wentylacji sali lekcyjnej. Systemy wentylacji naturalnej stosowane w salach szkolnych nie są w stanie zapewnić wymaganego przepływu powietrza, a stężenie CO₂ może okresowo osiągać nawet 10 000 ppm, jeśli okna nie są otwarte przez cały dzień. Nawet regularne otwieranie okien podczas przerw nie zapewnia akceptowalnej jakości środowiska w klasie — komfort termiczny jest niski przez ponad 45% czasu, a jakość powietrza przez ponad 80% czasu. Częste otwieranie okien w ciągu dnia znacznie zwiększa zapotrzebowanie na ogrzewanie, w studium przypadku opisywanym w [20] zapotrzebowanie na ogrzewanie wzrosło 3-krotnie w porównaniu do przypadku, gdy okna są otwierane tylko podczas przerw szkolnych.

W [18] zapytano grupę 985 studentów (kobiet i mężczyzn) o ich preferencje termiczne. Nie zaobserwowano znaczących różnic w postrzeganiu komfortu cieplnego między płciami, ale są badania, które wykazują, że takie różnice mogą być uzależnione od wieku. Młodsze dzieci mają trudności z określeniem swoich preferencji termicznych, ale potrafią ocenić swoje odczucia w tym zakresie [7, 18]. Uczniowie wolą, gdy w klasie są niższe temperatury, aniżeli te w których osoby dorosłe czują się dobrze [24, 63, 66]. Wysokie temperatury mogą prowadzić do utraty koncentracji [37].

Także wynik badań ankietowych i pomiarowych przeprowadzonych przez autorkę rozprawy i opisanych w [49] pokazują, że w analizowanym pomieszczeniu warunki nie są w pełni komfortowe, zwłaszcza na kolejnych zajęciach w ciągu dnia. W okresie grzewczym, gdy strop nie może przejść w tryb chłodzenia, system wentylacyjny zapewnia właściwą jakość powietrza, ale system grzewczo-chłodzący zapewnia odpowiednią temperaturę tylko w nocy, w przypadku braku użytkowników w pomieszczeniu. Po rozpoczęcia zajęć, z uwagi na pojawiające się zyski ciepła temperatura w pomieszczeniu wzrasta powodując dyskomfort użytkowników.

W ostatnich latach obserwuje się wzrost liczby dni z wysokimi temperaturami zewnętrznymi, oraz wydłużenie serii gorących dni (z temperaturą powietrza zewnętrznego przekraczającą 30°C) [12]. Powoduje to, że odpowiednie sterowanie systemem HVAC w celu utrzymania komfortu termicznego i jakości powietrza jest kluczowe.

Współpraca systemów TABS i wentylacji w budynkach edukacyjnych wymaga zatem uwzględnienia specyfiki obciążeń termicznych oraz wymagań w zakresie komfortu cieplnego i jakości powietrza w tego typu obiektach. Implementacja zaawansowanych strategii sterowania i integracja z systemami BMS może zapewnić efektywne działanie obu systemów, przyczyniając się do komfortu termicznego i jakości powietrza w pomieszczeniach oraz do obniżenia zapotrzebowania na energię przez budynek.

2. Stan badań nad systemami HVAC ze stropami aktywowanymi termicznie

Badania nad wykorzystaniem masy budynku do celów grzania i chłodzenia prowadzone są od lat 90. XX wieku. W 1993 roku Meierhans wykazał, że bezpośrednie chłodzenie powierzchni wodą zapewnia komfort cieplny przy dużych obciążeniach chłodniczych. Wysoka wydajność dystrybucji ciepła w systemach hydraulicznych zmniejsza koszty transportu energii, a całkowite zużycie energii jest tylko nieznacznie niższe [38].

Technologia TABS (ang. Thermally Activated Building Systems, Systemy Budowlane Aktywowane Termicznie) wykorzystuje strukturę budynku do magazynowania ciepła i chłodu, umożliwiając efektywne ogrzewanie i chłodzenie. Zgodnie z normą [28], przegroda aktywna to przegroda w budynku, w której zatopione są przewody

z płynem do celów grzania i chłodzenia. Mogą być osadzone w powierzchniach budynku lub w jego elementach. Umożliwia to kontrolowanie temperatury powierzchni i usuwanie ciepła jawnego z przestrzeni wewnętrznej [59]. Istnieje wiele rozwiązań aktywacji termicznej budynku. W literaturze stosowane są różne określenia, zależne od lokalizacji w powłoce budynku [74]. Są one przytoczone w Tab. 2.1.

Analiza chronologii pojawiających się artykułów związanych z tematem TABS, pozwala prześledzić ewolucję badań. Wybrane publikacje, uporządkowane na osi czasu, zostały przedstawiona na Rys. 1. W początkowym okresie opracowywano metody wyznaczenia temperatury wody zasilającej w stropach [38, 44, 46], a następnie coraz bardziej zaawansowane strategie sterowania działaniem systemów HVAC wykorzystujących TABS.

Tab. 2.1 Inne nazwy stosowane dla systemów TABS i ich zastosowania [74]

Nazwa angielska	Nazwa polska	Lokalizacja w konstrukcji	Funkcja
Hollow core slab	Płyta kanałowa		
Embedded tubes with hot/cold fluids	Przewody zatopione z gorącym/zimnym płynem		Ogrzewanie, chłodzenie
Slab cooling/heating system	System chłodzenia/ogrzewania stropem	Strop	Ogrzewanie, chłodzenie
Floor heating system	System ogrzewania podłogowego	Podłoga	Ogrzewanie
In slab heating floor	Ogrzewanie podłogowe w płycie	Podłoga	Ogrzewanie
Radiant floor	Podłoga promiennikowa	Podłoga	
Concrete core	Rdzeń betonowy	Strop, dach	Ogrzewanie, chłodzenie
Pipe-embedded envelope	Powłoka z zatopionymi rurami	Ściana, dach, cała powłoka budynku	Ogrzewanie, chłodzenie
Radiant slab cooling	Chłodzenie płytowe promiennikowe	Podłoga, ściana, dach, cała powłoka budynku	Chłodzenie
Concrete core cooling slab	Płyta chłodząca z rdzeniem betonowym		Chłodzenie
Thermally activated building constructions	Termicznie aktywowane konstrukcje budowlane	Podłoga, ściana, dach, cała powłoka budynku	Ogrzewanie, chłodzenie
Active building storage systems	Systemy aktywnego magazynowania energii w konstrukcji budynku	Podłoga, ściana, dach, cała powłoka budynku	Ogrzewanie, chłodzenie
Embedded hydronic pipe systems	Systemy z zatopionymi rurami wodnymi	Podłoga, ściana, dach, cała powłoka budynku	Ogrzewanie, chłodzenie

Dzięki możliwości grzania niskotemperaturowego i chłodzenia wysokotemperaturowego ich wydajność w porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami grzewczymi i chłodniczym jest wyższa [5].

Mają potencjał znacznego zmniejszenia zużycia energii i emisji CO₂ w budynkach. System TABS zużywa mniej energii, ponieważ transportuje energię termiczną za pomocą wody, która ma wyższą pojemność cieplną niż powietrze, co czyni cały system bardziej efektywnym energetycznie. Może być także zintegrowany z niskoenergetycznymi źródłami chłodu, a to pozwala na zwiększenie jego efektywności. [13]

Zespół badawczy Chandrashekar [9] przeanalizował efektywność i zużycie energii zintegrowanego systemu chłodniczego z wieżą chłodniczą (system pasywny) połączonego z aktywnym systemem chłodniczym z agregatem chłodniczym. Maksymalny zysk ciepła w systemie TABS z agregatem chłodniczym wyniósł 10 W/m², a średnia temperatura radiacyjna utrzymywała się w przedziale 24-26°C przez 80% czasu. Dzięki wstępnemu chłodzeniu przez

system TABS, zintegrowany system z agregatami chłodniczymi wykazał maksymalne miesięczne oszczędności energii na poziomie 6% oraz 8% redukcję emisji CO₂ w porównaniu z systemami chłodzenia aktywnego.

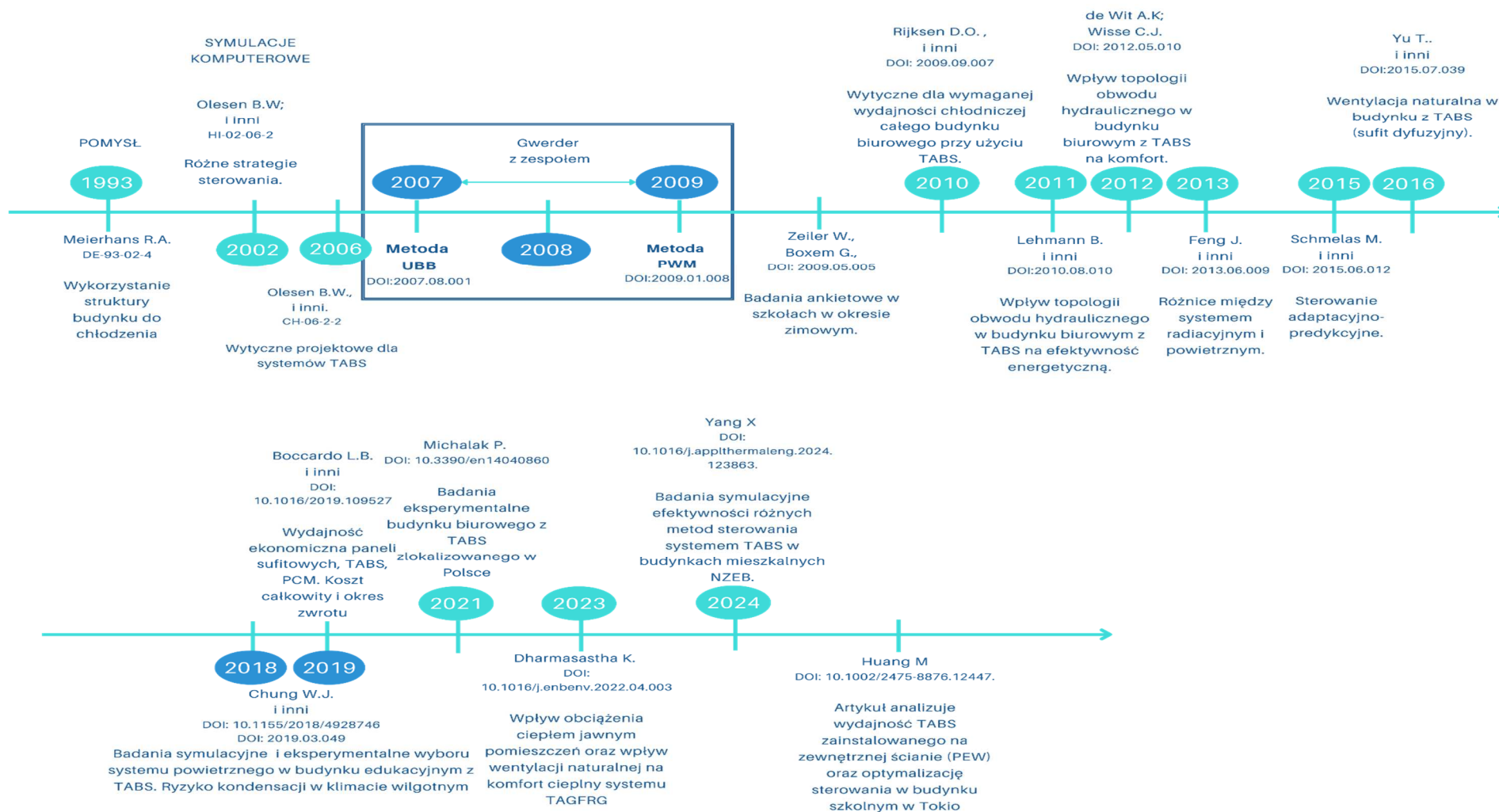
W [27] przeprowadzono badania systemu TABS, w którym aktywacji podlegały ściany budynku szkolnego (PEW, Pipe-Embedded Wall) zlokalizowanego w Tokio. Czynnikiem grzewczo/chłodniczym była woda studzienna. Otrzymane wyniki wykazały redukcję przenikania ciepła przy jednoczesnym utrzymaniu stabilnych warunków termicznych wewnątrz budynku, nawet podczas wysokiego nasłonecznienia.

Autorzy przeglądu literatury przedstawionego w [74] wykazali, że oszczędność energii wynikająca z zastosowania TABS może wynosić nawet do 50%. Dzieje się tak dzięki obniżeniu temperatury wewnątrz budynku przez system aktywacji termicznej konstrukcji.

Istotną kwestią są nakłady finansowe: inwestycyjne, koszty związane z zapotrzebowaniem na energię pierwotną do wytworzenia ciepła i chłodu, utrzymania instalacji (konserwacji, wymiany elementów). To zagadnienie zostało zbadane w [6]. Porównano ekonomiczną wydajność systemów chłodzenia TABS, sufitowych paneli PCM oraz tradycyjnego systemu opartego na powietrzu w otwartym biurze. TABS okazał się najtańszą opcją, z niższymi kosztami globalnymi w porównaniu do systemu opartego na powietrzu, zwłaszcza przy większej liczbie użytkowników. Panele sufitowe PCM były nieco droższe, ale stanowiły dobrą alternatywę w sytuacjach, gdy TABS nie są możliwe do zastosowania (szczególnie przy wysokich obciążeniach chłodniczych).

Ograniczeniem działania systemów TABS jest ryzyko wykroplenia wilgoci oraz regulacja. TABS nie może wyeliminować wilgotności co może prowadzić do kondensacji pary wodnej na powierzchniach. [47, 75]. Regulacja zakresu chłodzenia jest ograniczona do prędkości wody i powierzchni. Prędkość wlotu wody odgrywa kluczową rolę w usuwaniu energii (ciepła lub chłodu) zmagazynowanej w systemie TABS, wpływając na temperatury w pomieszczeniach i przewidywany procent niezadowolonych (PPD). [75]

W budynkach szkolnych, zagadnienie komfortu termicznego i jakości powietrza jest kluczowe. W 2009 roku przeprowadzono [80] badanie ankietowe w 14 szkołach w Holandii. Szkoły te różniły się pomiędzy sobą typami systemów wentylacji i ogrzewania. System stropów aktywowanych termicznie znajdował się w trzech z nich. Ogółem zebrano 173 ankiety, z czego 96 ankiet w szkołach z TABS. Autorzy stwierdzili, że w szkołach systemy TABS mogą zapewnić lepszy komfort termiczny zimą w porównaniu do tradycyjnych systemów ogrzewania.



Rys. 1 Subiektywny wybór kluczowych wydarzeń i badań w historii rozwoju systemów TABS

2.1. Struktury układów

Układy hydrauliczne są przedmiotem analiz w [25, 33, 78]. Istnieje konieczność strefowania systemu stropów aktywowanych termicznie. Topologia obiegów hydraulicznych i stosowana strategia sterowania muszą uwzględniać dużą stałą czasową ciepłą TABS. Topologia hydrauliczna jest ściśle związana z podziałem na strefy TABS oraz dodatkowym systemem sterowania na poziomie indywidualnych pomieszczeń. Przy podziale na strefy należy uwzględnić różnice zarówno w zewnętrznych, jak i wewnętrznych obciążeniach cieplnych. Wymagana topologia obiegu hydraulicznego do dostarczania ciepłej i zimnej wody do każdej strefy TABS może być uproszczona do dwóch rur dystrybucyjnych, które mają możliwość odłączenia od centralnego źródła wody, ale nie mają możliwości cyrkulacji.[78]

Efektywność energetyczna TABS jest znacząco uzależniona od zastosowanej topologii obiegu hydraulicznego. Przy zastosowaniu osobnych rur powrotnych dla stref można uzyskać oszczędności energii rzędu 15–25 kWh/m² rocznie, czyli 20–30% zapotrzebowania na ogrzewanie i chłodzenie, w porównaniu do wspólnych rur powrotnych dla stref, gdzie straty energii występują z powodu mieszania się wody powrotnej. Duży wpływ na efektywność energetyczną ma także strategia sterowania.[33]

W [25] autorzy analizują układy aktywacji elementów konstrukcji w budynku wysokim. Temperatura i przepływ są mierzone na różnych piętrach budynku i służą do określenia temperatury medium roboczego na wejściu i wyjściu dla każdej strefy. Te pomiary są następnie używane w algorytmie optymalizacyjnym (algorytmie genetycznym) do obliczenia optymalnego rozkładu przepływu i konfiguracji topologii, aby zminimalizować koszty operacyjne i inwestycyjne, jednocześnie spełniając wymagania energetyczne budynku. Proces optymalizacji obejmuje modelowanie i symulację obciążeń cieplnych budynku za pomocą oprogramowania (autorzy wykorzystali EnergyPlus), a następnie zastosowanie algorytmu genetycznego do optymalizacji topologii systemu TABS.

2.2. Algorytmy sterowania

Sterowanie systemami HVAC z TABS stanowi wyzwanie ze względu na ich długi czas reakcji i dużą bezwładność ciepłą, utrudnia to utrzymanie temperatury powietrza w pomieszczeniu zwłaszcza, w wąskim przedziale temperatur dopuszczalnych [34, 65].

Z uwagi na złożoną interakcję systemów TABS z konstrukcją budynku, ich wysoką masę termiczną i wolną reakcję na zachodzące zmiany, proces projektowy często wymaga pełnej symulacji budynku, z uwzględnieniem takich aspektów jak ryzyko kondensacji i wrażliwość na obciążenia wewnętrzne [2, 62, 65]. Pojawiają się także problemy eksploatacyjne związane ze sterowaniem systemem HVAC z przegrodami aktywowanymi termicznie. Głównie to brak możliwości naddanej regulacji parametrów komfortu w różnych pomieszczeniach znajdujących się w tej samej strefie hydraulicznej lub doraźnie w funkcji szybkich i nie kontrolowanych zmian obciążeń. Konieczne bywa ręczne przełączania między trybem grzania i chłodzenia na podstawie niejednoznacznych przesłanek. Przez to obsługa obiektu jest skomplikowana i wymaga dodatkowego zaangażowania operatorów [21, 45]

Gwerder i zespół [21, 22, 32, 33, 43, 70] zaprezentowali metodę sterowania TABS w oparciu o krzywą grzewczą i chłodniczą. W [21] przedstawili metodę UBB (ang. *Unknown-But-Bounded* – nieznanany, ale ograniczony [profil obciążeń]), która może być stosowana w obiektach o niskich lub średnich obciążeniach chłodniczych. Zaproponowali też bardziej rozbudowaną metodę PWM (ang. *Pulse Width Modulation* – modulacja szerokości impulsów [aktywnej pracy TABS]) opartą o dodatkowe czujniki i sterowanie czasem pracy pomp obiegowych [23].

W 2015 ukazał się artykuł [64], w którym autorzy zwracają uwagę, że brak odpowiedniej strategii sterowania, może uniemożliwić osiągnięcie komfortu w budynku, zwłaszcza jeśli wewnętrzne źródła ciepła zmieniają się w sposób gwałtowny. W artykule przedstawiono wyniki eksperymentu, który przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, wykorzystując komorę klimatyczną. W ten sposób opracowano adaptacyjno-predykcyjną metodę sterowania (APC, Adaptive and Predictive Control) opartą na wielokrotnej regresji liniowej AMLR. APC to strategia sterowania systemem TABS, wykorzystująca efekt samouczenia się. Za pomocą badań symulacyjnych autorzy wykazali, że ich podejście umożliwia osiągnięcie oszczędności czasu pracy pomp obiegowych nawet do 81%, jednocześnie zwiększając komfort cieplny.

Zmienność obciążeń wewnętrznych, wynikająca z różnych harmonogramów obciążenia pomieszczenia (biuro), była przedmiotem analizy w [67], która potwierdziła, że przyjęty profil użytkowania wpływa na bilans energetyczny. Typ budynku i wynikające z niego wzorce zysków ciepła wewnętrznego, znacząco wpływa na roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną. Dla energetycznie optymalnych wariantów, roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla budynku komercyjnego jest o 40% wyższe niż to samo zapotrzebowanie dla budynku edukacyjnego [50].

TABS obniża szczytowe obciążenia wewnętrzne [61], jednak podczas ich nagłych wahań i wysokich szczytów zapotrzebowania na chłód, w wyniku dużej bezwładności cieplnej wymagają uzupełniających systemów o szybkiej reakcji w celu kompensacji szczytowych obciążeń i zapewnienia komfortu termicznego [65].

Pai i Kumar [48] przeprowadzili badania eksperymentalne w których sprawdzili współpracę systemu TABS (podłoga i dach) oraz klimatyzacji (klimatyzatora wentylatorowego - FCU oraz klimatyzatora inwerterowego - AC). Badania były prowadzone w gorącym klimacie. TABS zintegrowany z FCU okazał się najlepszym rozwiązaniem dla ogólnego komfortu i zużycia energii podczas ciągłej pracy przez cały dzień.

System aktywowanych przegród budynku nie doprowadza do wnętrza powietrza świeżego. Musi w tym zakresie współpracować z instalacją wentylacyjną. Aktualnie standardem jest wymiarowanie tej instalacji tylko na potrzeby higieniczne, bez uwzględniania obciążeń termicznych – system DCV (ang. Demand Control Ventilation – wentylacja sterowana zapotrzebowaniem), wówczas działa ona w funkcji obciążeń higienicznych i jest sterowana w oparciu o pomiary CO₂.

W najnowszej literaturze coraz częściej pojawiają się zagadnienia związane z integracją TABS z systemami wentylacyjnymi w celu efektywniejszego odprowadzenia obciążeń cieplnych [10, 11, 13, 79]. Według [13] wentylacja i zastosowanie pasywnego chłodzenia pomagają w zminimalizowaniu zużycia energii poprzez system chłodzenia, a także zmniejszają ryzyko kondensacji pary wodnej, szczególnie w klimacie wilgotnym. Połączenie naturalnej wentylacji i TABS może skutecznie obniżyć temperaturę w pomieszczeniu [79]. Vivek wraz z zespołem [59, 75] przeprowadzili badania eksperymentalne w wybudowanych do tego celu dwóch obiektach badawczych w których porównali działanie budynku konwencjonalnego, oraz z TABS. Badania odbywały się w ciepłym i wilgotnym klimacie. W ich trakcie sprawdzono wpływ prędkości przepływu wody w przewodach zagłębionych w stropach (podłoga i dach) oraz współpracę z wentylacją naturalną. Wykazano, że naturalna wentylacja, gdy jest niekontrolowana, prowadzi do większych wahań temperatury powietrza w pomieszczeniach i negatywnie wpływa na komfort. Wyższe prędkości przepływu wody zwiększają zdolność transportu ciepła w pomieszczeniach, obniżając temperaturę roboczą i poprawiając komfort cieplny. W celu zwiększenia komfortu zalecana jest praca przy maksymalnych natężeniach przepływu, jednak im wyższe jest natężenie przepływu tym większe jest zużycie energii. Wykazano również, że zastosowanie TABS w połączeniu z naturalną wentylacją podnosi średnią

temperaturę powietrza w pomieszczeniu, przyczyniając się do poprawy jakości powietrza w pomieszczeniach i komfortu mieszkańców.

W Polsce wykonano badania pomiarowe trwające przez okres czterech miesięcy eksploatacji pomieszczenia biurowego, znajdującego się w budynku pasywnym z TABS, w którym działała wentylacja mechaniczna i klimatyzacja, a wszystkie systemy były zarządzane poprzez BMS (Building Management System, system zarządzania budynkiem). W ich wyniku udowodniono, że zastosowanie TABS z systemami wentylacji mechanicznej poprawia warunki komfortu cieplnego biura [39].

Systemy aktywacji termicznej przegród budowlanych w tym stropów są rozwiązaniem, które umożliwia poprawę efektywności energetycznej i komfortu termicznego w budynkach. Z uwagi na charakterystykę budynków edukacyjnych, które cechują się dużymi i dynamicznie zmieniającymi się obciążeniami wewnętrznymi, stosowanie TABS wymaga dalszych badań. Dotychczasowe prace koncentrują się głównie na biurach i budynkach użyteczności publicznej.

Zebrane informacje oraz przeanalizowany stan badań stanowią punkt wyjścia do sformułowania problemu badawczego, tez i celów niniejszej pracy, która skupia się na opracowaniu energooszczędnych strategii sterowania współpracą systemów stropów aktywowanych termicznie i wentylacji w celu efektywnego odprowadzania obciążeń termicznych w budynkach edukacyjnych.

3. Problem badawczy, cel, zakres i tezy pracy

Konstrukcje Budowlane Aktywowane Termicznie (TABS) zyskują na znaczeniu jako zrównoważone rozwiązanie dla ogrzewania i chłodzenia budynków. Ich efektywne wykorzystanie jako elementu systemu HVAC (ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja) może prowadzić do znacznego obniżenia zużycia energii oraz poprawy komfortu cieplnego w pomieszczeniach.

Pomimo rosnącej popularności TABS, istniejące opracowania dotyczące strategii sterowania tymi systemami koncentrują się głównie na budynkach biurowych, pomijając specyfikę budynków edukacyjnych. Dostępne w literaturze opisy integracji TABS z pozostałymi elementami systemu HVAC w kontekście szkół skupiają się na ograniczonych aspektach, takich jak zużycie energii czy utrzymanie komfortu cieplnego.

3.1. Problem badawczy

Analiza wyników badań naukowych nad systemami HVAC z TABS pozwala – w odniesieniu do budynków edukacyjnych o dużych i dynamicznie zmieniających się obciążeniach chłodniczych – na sformułowanie następujących nierozwiązanych problemów:

1. Niedostateczne wytyczne dla algorytmów sterowania TABS:

Metoda UBB, będąca podstawą wielu strategii sterowania TABS, nie uwzględnia w pełni dynamiki obciążeń chłodniczych w budynkach o zróżnicowanym użytkowaniu, takich jak szkoły. W rezultacie metoda ta nie zapewnia optymalnego sterowania systemem TABS w kontekście bilansu obciążeń termicznych.

2. Brak zintegrowanego sterowania:

Istniejące strategie sterowania koncentrują się oddzielnie na systemie TABS i systemie wentylacyjnym, pomijając możliwość integracji obu systemów w ramach nadrzędnego systemu HVAC. Brakuje opracowań uwzględniających współdziałanie tych systemów w celu efektywnego odprowadzania obciążeń termicznych.

3. Wykorzystanie powietrza wentylacyjnego:

Potencjał wykorzystania powietrza wentylacyjnego do częściowego odprowadzania obciążeń termicznych, a zwłaszcza chłodniczych w systemach HVAC z TABS nie został w pełni zbadany. Brakuje szczegółowych analiz dotyczących wpływu strategii sterowania na efektywność energetyczną i komfort w pomieszczeniach.

Problemem badawczym podjętym w rozprawie jest zatem sformułowanie i rozwiązanie zagadnienia współpracy TABS i wentylacji do odprowadzenia obciążeń termicznych w systemach HVAC w budynkach o dużych i dynamicznie zmieniających się obciążeniach chłodniczych, zwłaszcza w budynkach edukacyjnych.

W pracy podjęto próbę uzasadnienia problemu badawczego, szczegółowe wyniki badań pomiarowych i ankietowych przedstawiono w załączniku: *Z1 Badania subiektywne i obiektywne w wybranym pomieszczeniu dydaktycznym.*

3.2. Cel, zakres i tezy pracy

Celem naukowym rozprawy jest opracowanie metody wyznaczania algorytmów sterowania systemem HVAC z TABS opartych na krzywych grzania i chłodzenia oraz wykorzystaniu powietrza wentylacyjnego do odprowadzenia części obciążeń termicznych dla pomieszczeń o dynamicznie zmieniających się w czasie wewnętrznych obciążeniach chłodniczych. Zakłada się przy tym, utrzymanie parametrów komfortu cieplnego w założonych przedziałach, przy minimalnych nakładach energetycznych

Celem użytkarnym rozprawy jest opracowanie algorytmu energoptymalnego sterowania systemem HVAC z TABS (krzywych grzania i chłodzenia) w tym systemem wentylacyjnym (DCV, VAV) w budynkach o dużych i dynamicznie zmieniających się wewnętrznych obciążeniach chłodniczych na przykładzie pomieszczenia w budynku edukacyjnym.

Rozprawa obejmuje następujące zagadnienia:

1. Analiza literatury:

- Przegląd istniejących strategii sterowania systemem HVAC z TABS.
- Ocena możliwości wykorzystania powietrza wentylacyjnego do odprowadzania obciążeń termicznych.
- Identyfikacja luk badawczych w tej dziedzinie.

2. Badania ankietowe i pomiarowe:

- Przeprowadzenie ankiety wśród użytkowników budynków edukacyjnych w celu poznania ich oczekiwań co do komfortu cieplnego.
- Wykonanie pomiarów temperatury i wilgotności powietrza w pomieszczeniach edukacyjnych.

3. Modelowanie symulacyjne:

- Opracowanie modelu symulacyjnego działania systemu HVAC z TABS w programie TRNSYS.
- Weryfikacja modelu symulacyjnego na podstawie pomiarów przeprowadzonych w budynku edukacyjnym.

4. Opracowanie metody sterowania:

- Opracowanie algorytmu wyznaczania energoptymalnych krzywych grzania i chłodzenia dla systemu HVAC z TABS.
- Określenie strategii wykorzystania powietrza wentylacyjnego do odprowadzania obciążeń termicznych.

5. Implementacja metody:

- Zastosowanie opracowanej metody sterowania do budynku edukacyjnego.
- Ocena efektywności energetycznej i komfortu cieplnego w budynku.

Na podstawie analizy literatury i postawionego problemu badawczego sformułowano następujące tezy:

Teza 1:

Systemy TABS z wentylacją mechaniczną sterowaną w funkcji higienicznej i odprowadzania części obciążeń termicznych umożliwiają - dla budynków o dynamicznie zmieniających się wewnętrznych obciążeniach chłodniczych, stanowiących duży udział w bilansie obciążeń termicznych - uzyskanie mniejszych (węższych) przedziałów zmienności parametrów komfortu cieplnego, w stosunku do sterowania wentylacją mechaniczną tylko w funkcji higienicznej – w konsekwencji zapewniają lepszy komfort cieplny.

Teza 2:

Dla systemów HVAC z TABS oraz wentylacją mechaniczną odprowadzającą część obciążeń termicznych można wyznaczyć energooszczędne algorytmy sterowania, w tym takie krzywe grzania i chłodzenia, dla których roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla odprowadzenia obciążeń termicznych jest minimalne.

4. Zagadnienie energooszczędnego sterowania systemem TABS i wentylacji budynków edukacyjnych

4.1. Struktura zagadnienia, algorytm ogólny

Na Schemat blokowy algorytmu ogólnego rozwiązania problemu badawczego przedstawiono na Rys. 2.

Przedstawia on kompleksowy model optymalizacji systemu HVAC z TABS oraz procedurę optymalizacyjną. Celem optymalizacji jest wyznaczenie sterowania energooszczędnego systemem HVAC z TABS przy dopuszczalnych przedziałach tolerancji parametrów komfortu cieplnego, które są tutaj ograniczeniami. W praktyce oznacza to znalezienie najlepszego kompromisu między zużyciem energii a zapewnieniem odpowiednich warunków cieplnych w pomieszczeniach edukacyjnych.

Model optymalizacji obejmuje:

- Model systemu HVAC z TABS opisany przez parametry stałe i zmienne decyzyjne,
- Ograniczenia (warunki ograniczające) - ustalono warunki ograniczające oraz dopuszczalne wartości dla parametrów, które muszą być spełnione w trakcie procedury optymalizacyjnej,
- Funkcję celu - kryterium optymalizacyjne, którym jest minimum rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla odprowadzenia obciążeń termicznych w pomieszczeniu.

Parametry stałe definiuje się jako parametry, które są niezmiennie w procedurze optymalizacyjnej, natomiast mogą być w ogólnym przypadku funkcjami czasu. Parametrami stałymi są m.in. parametry określające:

- funkcję użytkową – tutaj dopuszczalny przedział temperatury operatywnej¹,
- izolacyjność termiczną budynku,
- obciążenia termiczne (cieplne i chłodnicze), w tym profile i harmonogramy tych obciążeń

¹ Temperatura operatywna/odczuwalna [26] jest równa średniej z dwóch wartości: temperatury powietrza i średniej temperatury promieniowania (temperatura otaczających powierzchni).

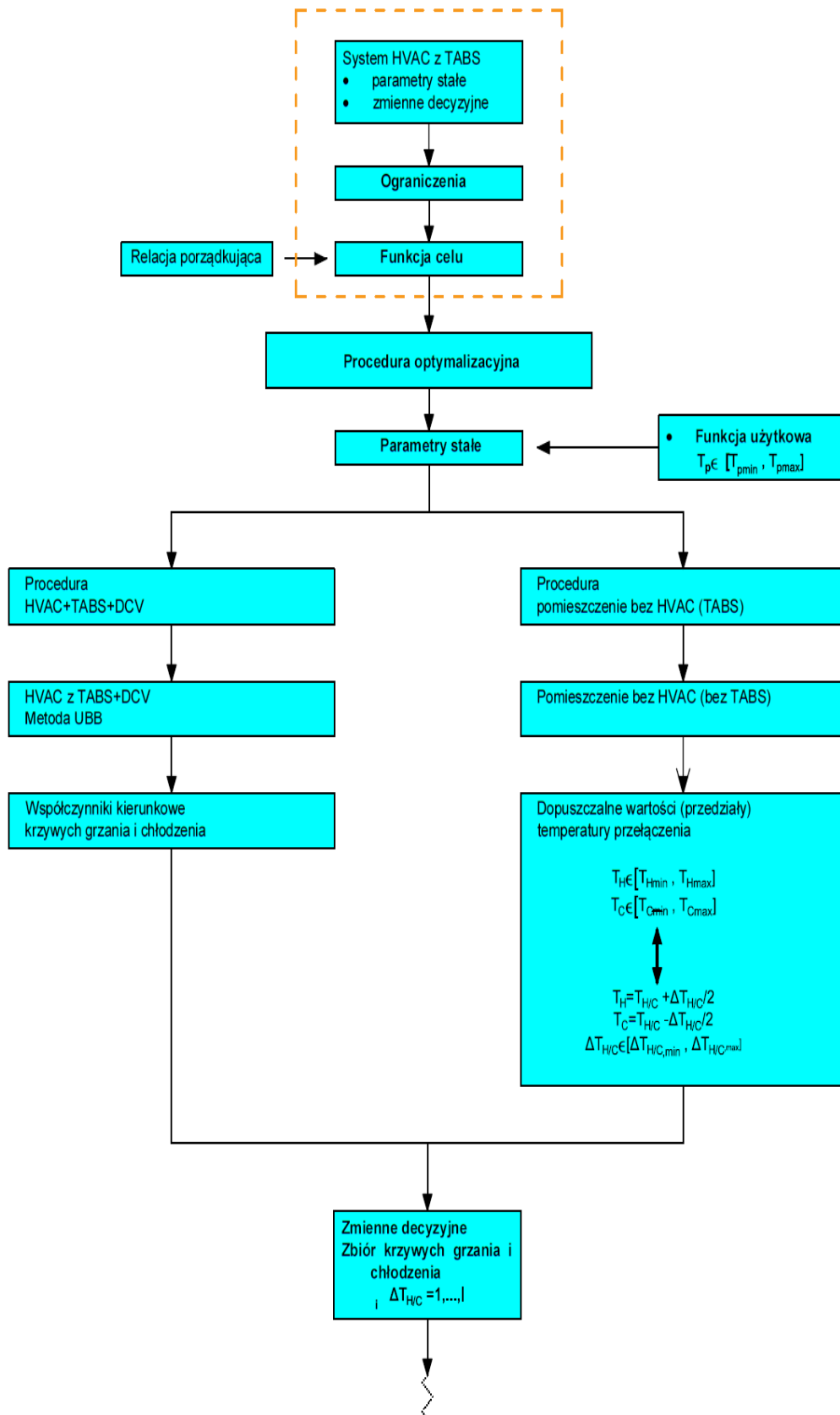
Zmienne decyzyjne definiuje się jako parametry zmienne w procedurze optymalizacyjnej. W rozważanym przypadku – poszukiwania energoptymalnych algorytmów sterowania TABS - jako zmienne decyzyjne przyjęto zbiór krzywych grzania i chłodzenia (współczynników kierunkowych oraz par temperatur przełączenia trybu pracy stropu aktywowanego termicznie na funkcję grzania lub chłodzenia).

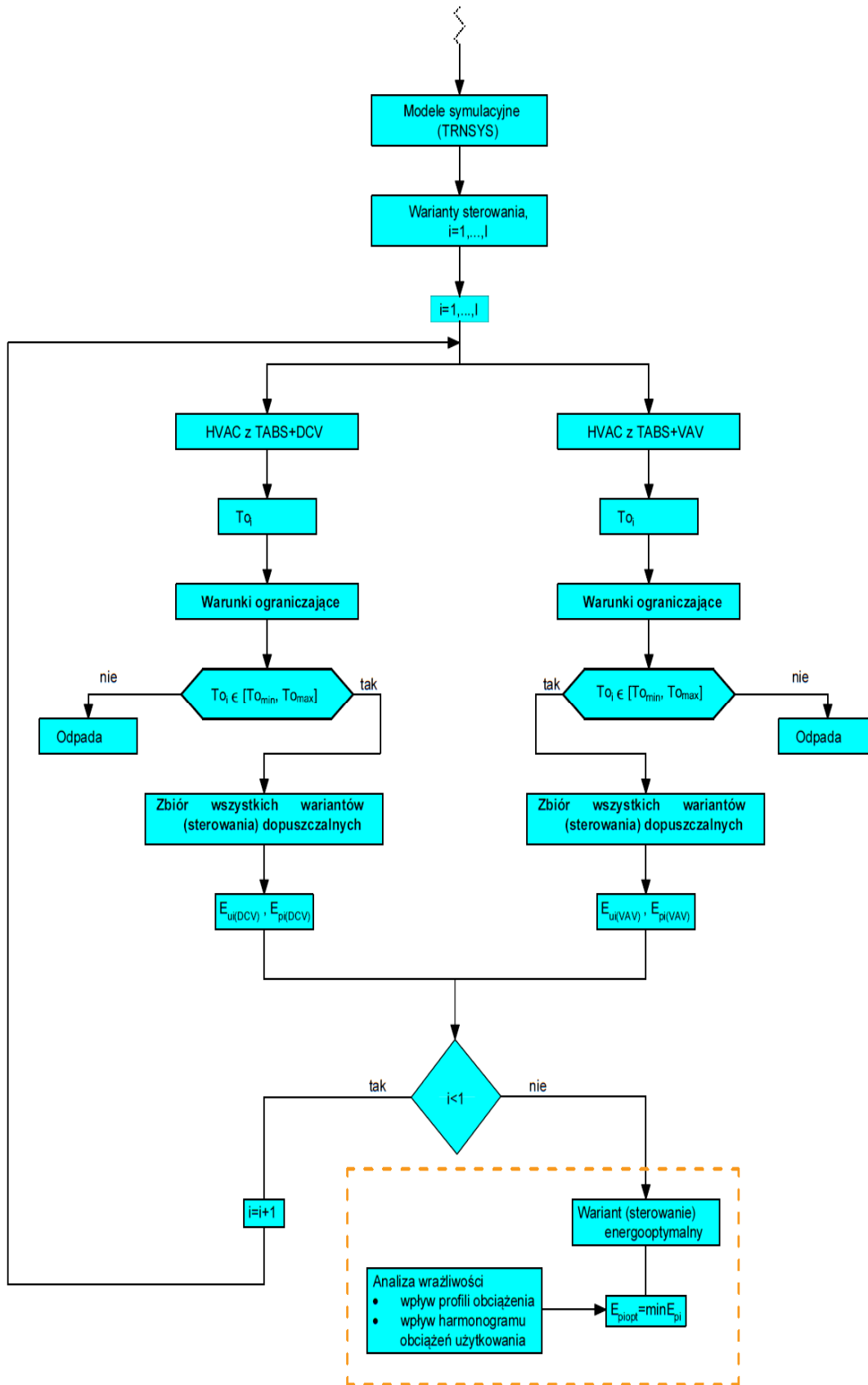
Procedura optymalizacyjna obejmuje – po określeniu modelu optymalizacji (w tym wyznaczeniu zbioru wariantów dopuszczalnych na podstawie warunków ograniczających) – wyznaczenie funkcji celu, czyli rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla odprowadzenia obciążeń termicznych

Narzędziem wyznaczenia funkcji celu są modele symulacyjne realizowane z wykorzystaniem programu TRNSYS17. Obliczenia są realizowane dwutorowo, uwzględniając zakres funkcji dla wentylacji we współpracy z TABS:

- dla systemu HVAC z TABS i DCV (TABS+DCV) -wentylacja tylko o funkcji higienicznej,
- dla systemu HVAC z TABS i VAV (TABS+VAV) -wentylacja o funkcji higienicznej i częściowego odprowadzenia obciążeń termicznych

Oryginalnym i kluczowym elementem modelu symulacyjnego i procedury optymalizacyjnej jest tutaj wyznaczenie takich krzywych grzania i chłodzenia (takich współczynników kierunkowych i temperatur przełączenia), dla których zapotrzebowanie na energię pierwotną systemu HVAC z TABS+DCV lub VAV dla odprowadzenia obciążeń termicznych jest minimalne, przy założeniu dopuszczalnych przedziałów tolerancji parametrów komfortu cieplnego (tutaj temperatury operatywnej).





Rys. 2 Struktura zagadnienia energoptymalnego sterowania systemem HVAC z TABS

4.2. Funkcja celu

Funkcję celu stanowi minimum rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla odprowadzenia obciążeń termicznych w pomieszczeniu przez system HVAC z (TABS+DCV) lub HVAC z (TABS+VAV). Funkcję celu w analogii do stosowanych formuł w aplikacjach [57] sformułowano w postaci (4.1):

$$E_p = w_{H,TABS} \cdot \frac{Q_{H,TABS}}{\eta_{H,TABS}} + w_{H,AIR} \cdot \frac{Q_{H,AIR}}{\eta_{H,AIR}} + w_{C,TABS} \cdot \frac{Q_{C,TABS}}{\eta_{C,TABS}} + w_{C,AIR} \cdot \frac{Q_{C,AIR}}{\eta_{C,AIR}} \quad (4.1)$$

$Q_{H/C,TABS}$ (wzór (4.2)) jest to roczne zapotrzebowanie ciepła (H) lub chłodu (C) dla systemu TABS lub wentylacyjnego (AIR) do odprowadzenia obciążeń termicznych. Roczne zapotrzebowanie na ciepło lub chłód dla systemu TABS stanowi sumę zapotrzebowania na ciepło, lub chłód dla wszystkich godzin.

$$Q_{H/C,TABS} = \sum_{i=1}^{8760} (\dot{m}_{H/C,water} \cdot c_{p,water} \cdot \Delta T_{water}) \quad (4.2)$$

Roczne zapotrzebowanie na ciepło lub chłód dla systemu wentylacyjnego (wzór (4.3)) stanowiące sumę zapotrzebowania na ciepło, lub chłód dla wszystkich godzin dla danego procesu, zostało opisane przy pomocy ogólnego wzoru

$$Q_{H/C,AIR} = \sum_{i=1}^{8760} (\dot{m}_{H/C,AIR} \cdot c_{p,AIR} \cdot \Delta T_{AIR}) \quad (4.3)$$

Roczne zapotrzebowanie na energię końcową dla systemu TABS określa (wzór (4.4)):

$$E_{K,H/C,TABS} = \frac{1}{\eta_{H/C,TABS}} \cdot \sum_{i=1}^{8760} (\dot{m}_{H/C,water} \cdot c_{p,water} \cdot \Delta T_{water}) \quad (4.4)$$

Roczne zapotrzebowanie na energię końcową dla systemu wentylacyjnego, stanowi sumę zapotrzebowania na ciepło lub chłód dla wszystkich godzin dla danego procesu. Zostało opisane przy pomocy ogólnego wzoru (4.5):

$$E_{K,H/C,AIR} = \frac{1}{\eta_{H/C,AIR}} \cdot \sum_{i=1}^{8760} (\dot{m}_{H/C,AIR} \cdot c_{p,AIR} \cdot \Delta T_{AIR}) \quad (4.5)$$

Przyjęte wartości współczynników nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej oraz średniej sezonowej sprawności przedstawiono w Tab. 4.1.

Wartości średniej sezonowej sprawności wytwarzania ciepła wyznaczono w oparciu o [14, 16, 42, 55, 56] według równania (4.6):

$$\eta_{H,SYSTEM} = \eta_{H,g} \cdot \eta_{H,e} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,s} \quad (4.6)$$

Gdzie

$\eta_{H,g}$ -średnia sezonowa sprawność wytwarzania ciepła z nośnika energii lub energii dostarczanych do źródła ciepła; 0,98

$\eta_{H,e}$ -średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w przestrzeni ogrzewanej; 0,97

$\eta_{H,d}$ - średnia sezonowa sprawność przesyłu ciepła ze źródła ciepła do przestrzeni ogrzewanej; 0,90

$\eta_{H,s}$ -średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła w elementach pojemnościowych systemu ogrzewania; 0,95

Wartości średniej sezonowej sprawności wytwarzania chłodu wyznaczono w oparciu o [14, 16, 42, 55, 56] według równania (4.7):

$$\eta_{C,SYSTEM} = SEER \cdot \eta_{H,e} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,s} \quad (4.7)$$

Gdzie:

$SEER$ -średni sezonowy współczynnik efektywności energetycznej wytwarzania chłodu z nośnika energii lub energii dostarczanych do źródła chłodu; 3,5

$\eta_{C,e}$ -średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania chłodu w przestrzeni chłodzonej; 0,97

$\eta_{C,d}$ -średnia sezonowa sprawność przesyłu chłodu ze źródła chłodu do przestrzeni chłodzonej; 0,9

$\eta_{C,s}$ - średnia sezonowa sprawność akumulacji chłodu w elementach pojemnościowych systemu chłodzenia; 0,95

Tab. 4.1 Przyjęte wartości współczynników nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej oraz średniej sezonowej sprawności

Symbol	Definicja	Przyjęta wartość [-]
$W_{H,TABS}$	współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej, dla grzania, przez TABS,	0,74
$W_{H,AIR}$	współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej, dla grzania, przez system powietrzny	0,74
$W_{C,TABS}$	współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej, dla chłodzenia, przez TABS	2,5
$W_{C,AIR}$	współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej, dla chłodzenia, przez system powietrzny	2,5
$\eta_{H,TABS}$	średnia sezonowa całkowita sprawność ogrzewania za pomocą systemu TABS	0,81
$\eta_{H,AIR}$	średnia sezonowa całkowita sprawność ogrzewania za pomocą systemu powietrznego	0,81
$\eta_{C,TABS}$	średnia sezonowa całkowita sprawność chłodzenia za pomocą systemu TABS	3,5
$\eta_{C,AIR}$	średnia sezonowa całkowita sprawność wytwarzania chłodu za pomocą systemu powietrznego	2,9

4.3. Metoda rozwiązania

4.3.1. Charakterystyka ogólna

Metoda rozwiązania przedstawionego zagadnienia energoptymalnego sterowania systemem HVAC z TABS oparta jest na metodzie UBB, w której modyfikuje się algorytm wyznaczania temperatur przełączenia dla grzania i chłodzenia (krzywych grzania i chłodzenia) według zaproponowanej oryginalnej procedury. Procedura ta polega na wyznaczeniu zbioru krzywych grzania i chłodzenia (zmiennych decyzyjnych) na podstawie hipotez badawczych, a następnie wyznaczenia funkcji celu (rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla odprowadzenia obciążeń). Narzędziem obliczeniowym jest model symulacyjny. Sterowaniem energoptymalnym jest tutaj para krzywych grzania i chłodzenia dla której funkcja celu osiąga minimum.

4.3.2. Metoda UBB dla pomieszczenia z TABS - współczynniki kierunkowe krzywych grzania i chłodzenia

Temperaturę wody zasilającej SGC (strop grzewczo-chłodzący) wyznaczono w oparciu o algorytm przedstawiony w [21, 70]. Według tego algorytmu, temperatura wody zasilającej przegrodę aktywną, jest przedstawiona w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego (równanie(4.8)):

$$T_{sw} = f(T_{ex}) \quad (4.8)$$

Metoda ta nosi nazwę Unknown-But-Bounded (Nieznany (profil obciążeń), ale ograniczony; UBB).

Określa ona trzy typy obiektów na podstawie wstępnej analizy obciążeń wewnętrznych, opisanych w [21] i cytowanych poniżej w formie tłumaczenia z języka angielskiego:

„**Typ 1** - mały udział dynamiki obciążeń chłodniczych w bilansie cieplnym obiektu. Sezon grzewczy, chłodniczy i nieaktywny (tzw. *free running*) TABS są jednoznacznie określone przez wartość temperatury zewnętrznej. (Rys. 3)

Typ 2 - średni udział dynamiki obciążeń chłodniczych w bilansie cieplnym obiektu. Podział na sezon grzewczy i chłodniczy jest niemożliwy dla pewnego zakresu temperatury zewnętrznej, jednak istnieje możliwość kontrolowania trybu pracy na podstawie temperatury wody powrotnej z TABS lub znajdującej się w TABS. Jeżeli woda powracająca z TABS jest niższa niż wynika z krzywej grzewczej, wówczas należy ją podgrzać do tej temperatury. Jeżeli jest wyższa od temperatury wynikającej z krzywej chłodniczej, to należy ją schłodzić do tej temperatury. Jeśli jest pomiędzy tymi temperaturami, nie zmienia się jej temperatury. (Rys. 4)

Typ 3 - duży udział dynamiki obciążeń cieplnych w bilansie cieplnym obiektu. Krzywa grzewcza wykazuje wyższą temperaturę zasilania niż krzywa chłodnicza (Rys. 5). Istnieje zakres temperatury zewnętrznej, dla której nawet za pomocą temperatury wody powrotnej z TABS nie można określić czy SGC powinien pracować w trybie grzania czy chłodzenia. Sterowanie TABS jest problematyczne, można wykorzystać sprzężenie zwrotne z czujnika temperatury wewnętrznej, ale jest to mało skuteczne z uwagi na dużą bezwładność systemu. Alternatywnie można wykorzystać informacje o obciążeniu chłodniczym np. z czujnika CO₂, ale problem dużej bezwładności pozostaje.”

Istota jest tutaj następująca konkluzja:

dla budynków o dużym udziale dynamiki obciążeń chłodniczych w bilansie cieplnym, dużej zmienności obciążeń chłodniczych, metoda UBB nie daje pełnych wytycznych dla algorytmu sterowania TABS.

Ciąg dalszy tłumaczenia na podstawie [21]:

„Etapy metody UBB są następujące:

1. *Określenie komponentów budynku i parametrów TABS*

- Wyznaczenie:
 - R_t – opór termiczny systemu przewodów TABS
 - R_{1f} – opór termiczny fasady budynku
 - \tilde{R} - opór termiczny pomiędzy rdzeniem aktywnej przegrody a pomieszczeniem

2. *Określenie typów zysków ciepła i określenie wynikowych profili górnej i dolnej granicy zysków ciepła*

- Przyjęcie harmonogramu generowania wewnętrznych zysków ciepła;
- Założenie, że:

Profil dolnej granicy temperatury jest nieustannie powtarzany, więc można wyznaczyć quasi stacjonarne profile wszystkich wektorów stanu (temperatury płyt i ścian).

- Wykonanie dodatkowych symulacji:
 - $\dot{q}_g = 0$ ponieważ system jest liniowy, możliwe jest obliczenie temperatury pokojowej jako superpozycji temperatury pokojowej dla sytuacji bez przyrostów;
 - $T_{sw} = T_{oa} = 0^\circ\text{C}$ wzrost temperatury pokojowej spowodowany zyskami;
 - $\dot{m}_w = 0$ wzrost temperatury pokojowej przy niedziałającej instalacji TABS;

3. *Obliczenie dolnej i górnej równoważnej granicy zysków ciepła*

I. Wyznaczenie dolnej, równoważnej granicy zysków ciepła $\dot{q}_{g,elb}$ (wzór (4.9))

Dla symulacji: $T_{sw} = T_{oa} = 0^\circ\text{C}$

- a) Znalezienie doby, gdy temperatury w pomieszczeniu są najwyższe ($T_{r,max}$);

- b) Znalezienie doby, gdy w pomieszczeniu występuje najniższa temperatura ($T_{r,\min}$);
- c) Wyznaczenie minimalnej różnicy temperatur w najzimniejszej dobie pomiędzy temperaturą minimalną i maksymalną $\Delta T_{r,lb}$;
- d) Wyznaczyć:

$$\dot{q}_{g,elb} = \frac{R_t + \tilde{R} + R_{1,f}}{R_{1,f} \cdot (R_t + \tilde{R})} \cdot \min\{\Delta T_{r,lb}(t_i)\} \quad (4.9)$$

II. Wyznaczenie górnej, równoważnej granicy zysków ciepła $\dot{q}_{g,eub}$ (wzór (4.10))

Dla symulacji: $\dot{q}_g = 0$

- a) Znalezienie doby, gdy temperatury w pomieszczeniu są najwyższe;
- b) Wyznaczenie różnicy temperatur pomiędzy temperaturą maksymalną i minimalną $\Delta T_{r,ub}$ w dobie najcieplejszej;
- c) Wyznaczyć

$$\dot{q}_{g,eub} = \frac{R_t + \tilde{R} + R_{1,f}}{R_{1,f} \cdot (R_t + \tilde{R})} \cdot \max\{\Delta T_{r,ub}(t_i)\} \quad (4.10)$$

4. Określenie nastawy temperatury pokojowej ogrzewania / chłodzenia (zakres komfortowy)

- nastawa temperatury dla grzania: $T_{r,spH}$

- nastawa temperatury dla chłodzenia: $T_{r,spC}$

5. Obliczenie krzywych grzania / chłodzenia

- a) Moc grzewcza / chłodnicza, która musi być przekazana do stropu przez obwód wodny TABS:

- grzanie (wzór (4.11)):

$$\dot{q}_{w,spH} = \frac{1}{R_{1,f}} \cdot (T_{r,spH} - T_{oa}) - \dot{q}_{g,elb} \quad (4.11)$$

- chłodzenie (wzór (4.12)):

$$\dot{q}_{w,spC} = \frac{1}{R_{1,f}} \cdot (T_{r,spC} - T_{oa}) - \dot{q}_{g,eub} \quad (4.12)$$

- b) Nastawa temperatury wody zasilającej:

- grzanie (wzór (4.13)):

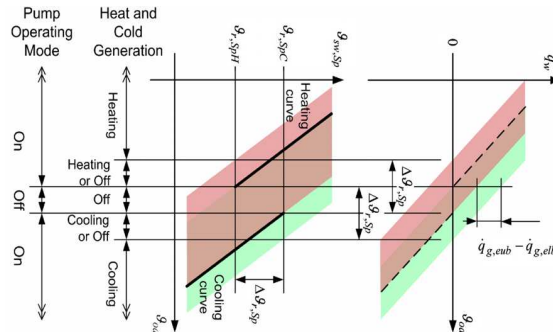
$$T_{sw,spH} = T_{r,spH} + \frac{R_t + \tilde{R}}{R_{1,f}} \cdot (T_{r,spH} - T_{oa}) - (R_t + \tilde{R}) \cdot \dot{q}_{g,elb} \quad (4.13)$$

- chłodzenie (wzór (4.14)):

$$T_{sw,spH} = T_{r,spC} + \frac{R_t + \tilde{R}}{R_{1,f}} \cdot (T_{r,spC} - T_{oa}) - (R_t + \tilde{R}) \cdot \dot{q}_{g,eub} \quad (4.14)$$

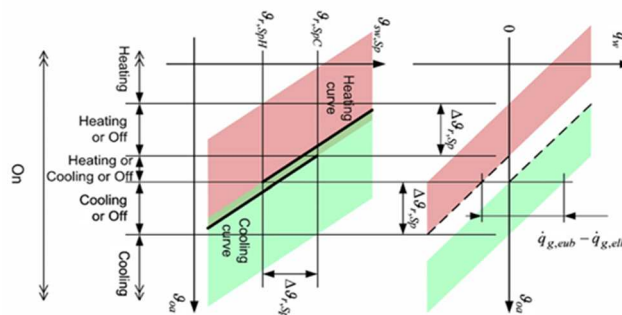
6. Weryfikacja przebiegu krzywej grzania i chłodzenia, przyporządkowanie do odpowiedniego wariantu:

- a) **Przypadek (a):** jeśli zakres przyrostu ciepła jest mały ($\Delta\dot{q}_{g,eb} = \dot{q}_{g,eub} - \dot{q}_{g,elb} \rightarrow$ mała) istnieje przedział temperatury zewnętrznej, w którym z pewnością nie jest wymagane ani chłodzenie TABS, ani moc grzewcza TABS.



Rys. 3 Zapotrzebowanie na ogrzewanie i chłodzenie jako funkcje temperatury powietrza na zewnątrz i odpowiadające krzywe ogrzewania i chłodzenia dla niskich wewnętrznych zysków ciepła [21]

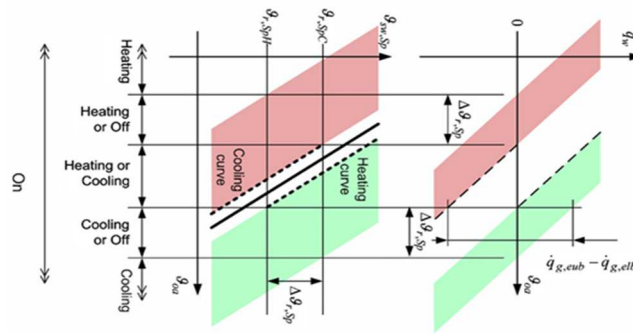
- b) **Przypadek (b):** dla średniego zakresu przyrostów ciepła ($\Delta\dot{q}_{g,eb} = \dot{q}_{g,eub} - \dot{q}_{g,elb} \rightarrow$ średnia) istnieje przedział temperatur zewnętrznych, w którym - bez znajomości faktycznych zysków ciepła - nie można określić, czy zapotrzebowanie na ogrzewanie, chłodzenie lub brak zapotrzebowania na moc. Niemniej jednak, o ile można utrzymać temperaturę wody zasilającej pomiędzy krzywymi grzania i chłodzenia, można utrzymać komfort cieplny. Znając tylko rzeczywistą temperaturę wody zasilającej i położenie zaworu, regulator temperatury wody zasilającej jest w stanie to zrobić automatycznie (wykona działanie korygujące (obniżenie T_{sw}), jeśli leży powyżej krzywej chłodzenia, podniesienie T_{sw} , jeśli leży poniżej krzywej grzania lub cyrkulacja wody tylko, jeśli T_{sw} leży pomiędzy krzywą grzania i chłodzenia).



Rys. 4 Zapotrzebowanie na ogrzewanie i chłodzenie jako funkcje temperatury powietrza na zewnątrz i odpowiadające krzywe ogrzewania i chłodzenia dla średnich wewnętrznych zysków ciepła [21]

- c) **Przypadek (c):** w przypadku dużych zakresów przyrostów ciepła ($\Delta\dot{q}_{g,eb} = \dot{q}_{g,eub} - \dot{q}_{g,elb} \rightarrow$ duża) nie jest już możliwe utrzymanie komfortu we wszystkich sytuacjach związanych z przyrostem ciepła, ponieważ krzywa grzania leży powyżej krzywej chłodzenia.

W niektórych przypadkach integracja drugiej pętli sterowania (z czujnikami temperatury w pomieszczeniu, oprócz pętli temperatury wody zasilającej) może rozwiązać problem. Jednak w większości przypadków z taką sytuacją można sobie poradzić tylko za pomocą rozszerzonej metody UBB[23], która uwzględnia pomocnicze systemy ogrzewania i chłodzenia lub dodatkowe czujniki.



Rys. 5 Zapotrzebowanie na ogrzewanie i chłodzenie jako funkcje temperatury powietrza na zewnątrz i odpowiadające krzywe ogrzewania i chłodzenia dla dużych wewnętrznych zysków ciepła [21]

7. Obliczenie zakresu temperatur powietrza zewnętrznego przy którym $\dot{m}_w = 0$ (TABS – stop)

- grzanie (wzór (4.15):

$$T_{oa,LmH} = T_{r,spH} - \min\{\Delta T_{r,0lb}(t_i)\} \quad (4.15)$$

- chłodzenie (wzór (4.16):

$$T_{oa,LmC} = T_{r,spC} - \max\{\Delta T_{r,0ub}(t_i)\} \quad (4.16)$$

8. Maksymalny dopuszczalny równoważny zakres przyrostu ciepła (wzór (4.17):

$$\Delta \dot{q}_{g,eMax} = \left(\frac{1}{R_t + \bar{R}} + \frac{1}{R_{1,f}} \right) \cdot \Delta T_{r,sp} \quad (4.17)$$

9. Wykonanie pętli optymalizacji, jeśli wymagania nie są spełnione.”

Dla systemu HVAC z (TABS+DCV) wyznacza się współczynniki kierunkowe krzywych grzania i chłodzenia w oparciu o metodę UBB [21, 22], a następnie temperaturę przełączenia dla trybów pracy systemu TABS (grzanie/pauza/chłodzenie). W przypadku dużych i dynamicznie zmieniających się obciążeń metoda UBB nie pozwala na wyznaczenie temperatury przełączenia.

Procedura optymalizacyjna polega na opracowaniu metod wyznaczenia pary temperatury T_H i T_C , granicznych pomiędzy trybami grzania i chłodzenia. Na ich podstawie otrzymuje się zbiór zmiennych decyzyjnych.

4.3.3. Zmienne decyzyjne

W prezentowanej metodzie zbiorem zmiennych decyzyjnych jest zbiór krzywych grzania i chłodzenia. Krzywe grzania i chłodzenia określają temperatury przełączenia dla trybu grzania i chłodzenia oraz współczynniki kierunkowe prostych. Pośrednio parametrami są tutaj przedziały temperatury stanowiące różnicę między temperaturą przełączenia dla funkcji chłodzenia i funkcji grzania:

$$\Delta T_{H/C_i} = 1, 2, 3, \dots, I \quad (4.18)$$

4.3.4. Warianty sterowania i hipotezy badawcze

Jako narzędzie obliczeniowe w modelach symulacyjnych wykorzystano program TRNSYS17. Modele symulacyjne uwzględniają różne warianty sterowania (oznaczone jako $i=1, 2, \dots, I$) systemem HVAC z TABS. Każdy wariant sterowania odpowiada określonej parze temperatur przełączenia trybu pracy systemu TABS i pośrednio parze krzywych grzania i chłodzenia.

W sytuacji, gdy występuje deficyt chłodu lub ciepła, w opcji HVAC z (TABS+VAV) wykorzystuje się system wentylacyjny w celu uzyskania parametrów funkcji użytkowej w określonym przedziale.

Wartości tych parametrów wyznacza się na podstawie modelu symulacyjnego, a dopuszczalny poziom przekroczenia wynosi 15% w ciągu roku.

Analogicznie postępujemy w przypadku współpracy systemu HVAC z (TABS+DCV).

W ten sposób powstaje zbiór dopuszczalnych wariantów sterowania. Dla elementów tego zbioru przeprowadza się obliczenia energii użytkowej oraz pierwotnej.

Oryginalnym elementem modeli symulacyjnych jest wyznaczenie zbioru dopuszczalnych krzywych grzania i chłodzenia – takich krzywych grzania i chłodzenia, dla których spełniona jest funkcja użytkowa (temperatura operatywna zawarta w dopuszczalnym przedziale). Krzywe grzania i chłodzenia wyznacza się w prezentowanej metodzie modyfikując algorytm wyznaczania temperatur przełączenia dla grzania i chłodzenia zaproponowany w metodzie UBB. Punktem wejścia jest tutaj sformułowanie definicji nowo wprowadzanych parametrów oraz sformułowanie hipotez badawczych.

Dla przedziału krzywej grzania określa się kres górny – **temperaturę przełączenia dla ogrzewania** – T_H : wartość temperatury powietrza zewnętrznego poniżej której wymagane jest ogrzewanie.

Dla przedziału krzywej chłodzenia określa się kres dolny – **temperaturę przełączenia dla chłodzenia** – T_C : wartość temperatury powietrza zewnętrznego powyżej której wymagane jest chłodzenie.

Dla tych dwóch parametrów można określić wartość **średnią temperatur przełączenia** - $T_{H/C}$ i **różnicę temperatur przełączenia** - $\Delta T_{H/C}$.

Zakłada się symetryczną odległość T_H i T_C od $T_{H/C}$, co można zapisać za pomocą wzorów (4.19) i (4.20):

$$T_H = T_{H/C} + \Delta T_{H/C} \quad (4.19)$$

$$T_C = T_{H/C} - \Delta T_{H/C} \quad (4.20)$$

Przedział temperatury powietrza zewnętrznego pomiędzy temperaturą przełączenia dla chłodzenia (wartość większa), a temperaturą przełączenia dla ogrzewania (wartość mniejsza) określa się jako przedział **neutralny** (T_H , T_C) – w tym przedziale nie jest realizowane ani chłodzenie, ani ogrzewanie.

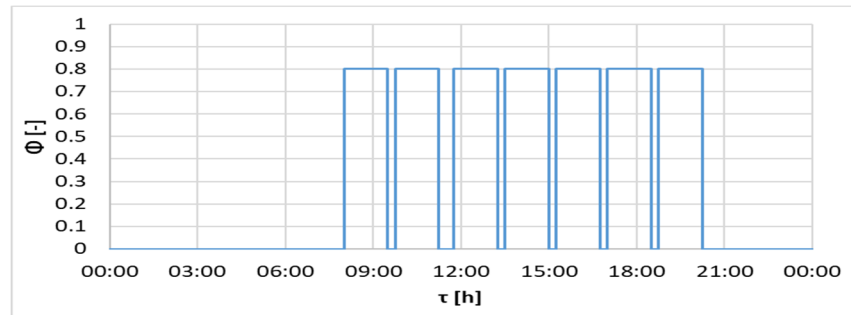
Formułuje się następujące hipotezy badawcze:

Hipoteza I:

Przedział neutralny (T_H , T_C) temperatury powietrza zewnętrznego można wyznaczyć na podstawie symulacji rocznych bilansów obciążeń termicznych i odprowadzenia tych obciążeń (bilansów energii) dla pomieszczenia i dwóch stanów działania:

- **Stan 1**, założenia:
 - nie działa system HVAC,
 - harmonogram użytkowania: 8:00-20:00 (Rys. 6),

- wartość obciążeń: **max. - 100%**



Rys. 6 Harmonogram użytkowania 8:00-20:00

Hipoteza II:

Wartość temperatury powietrza zewnętrznego dla **stanu 1**, poniżej której wynikowa temperatura odczuwalna w pomieszczeniu jest niższa od wymaganej minimalnej temperatury odczuwalnej (+22°C) jest **minimalną** wartością temperatury przełączenia **dla ogrzewania - T_{Hmin}**

Wartość temperatury powietrza zewnętrznego dla **stanu 1**, powyżej której wynikowa temperatura odczuwalna w pomieszczeniu jest wyższa od wymaganej maksymalnej temperatury odczuwalnej (+25°C), jest **maksymalną** wartością temperatury przełączenia **dla chłodzenia - T_{Cmax}**

Uzasadnienie:

- Analiza dotyczy stanu, w którym funkcja ogrzewania ograniczona jest do minimum (czasowo i wartościowo), a funkcja chłodzenia realizowana jest w zakresie maksymalnym (czasowo i wartościowo), ponieważ obciążenia wewnętrznymi zyskami ciepła w pomieszczeniu są maksymalne.
- Zastosowanie dowolnego systemu HVAC spowoduje wynikowo poszerzenie przedziału neutralnego (T_H , T_C): zmniejszenie wartości temperatury przełączenia dla ogrzewania T_H i zwiększenie wartości temperatury przełączenia dla chłodzenia T_C .

Komentarz:

Wartość wynikowej temperatury przełączenia dla ogrzewania t_g i chłodzenia t_c wynika (dla przyjętych pozostałych założeń) tylko z akumulacyjności przegród budowlanych pomieszczenia.

- **Stan 2**, założenia:
 - nie działa system HVAC,
 - harmonogram użytkowania: 8:00-20:00,
 - wartość obciążeń: **około 0%** (wartość eksploatacyjnie założona i uzasadniona)

Hipoteza III:

Wartość temperatury powietrza zewnętrznego dla **stanu 2**, poniżej której wynikowa temperatura odczuwalna w pomieszczeniu jest niższa od wymaganej minimalnej temperatury odczuwalnej (+22°C) jest **maksymalną** wartością temperatury przełączenia **dla ogrzewania - t_{gmax}**

Wartość temperatury powietrza zewnętrznego dla **stanu 2**, powyżej której wynikowa temperatura odczuwalna w pomieszczeniu jest wyższa od wymaganej maksymalnej temperatury odczuwalnej (+25°C), jest **minimalną** wartością temperatury przełączenia **dla chłodzenia - t_{cmin}**

Uzasadnienie:

- Analiza dotyczy stanu, w którym funkcja ogrzewania realizowana jest w zakresie maksymalnym (czasowo i wartościowo), a funkcja chłodzenia ograniczona jest do minimum (czasowo i wartościowo), ponieważ obciążenia wewnętrznymi zyskami ciepła w pomieszczeniu są minimalne.
- Zastosowanie dowolnego systemu HVAC spowoduje wynikowo poszerzenie przedziału neutralnego (T_H, T_C): zmniejszenie wartości temperatury przełączenia dla ogrzewania T_H i zwiększenie wartości temperatury przełączenia dla chłodzenia T_C .

Komentarz:

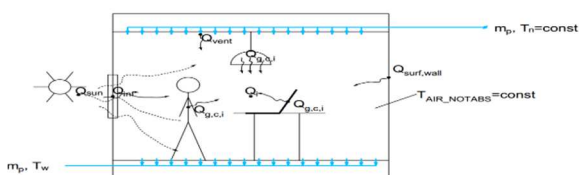
Wartość wynikowej temperatury przełączenia dla ogrzewania T_H i chłodzenia T_C wynika (dla przyjętych pozostałych założeń) tylko z akumulacyjności przegród budowlanych pomieszczenia

Hipoteza IV:

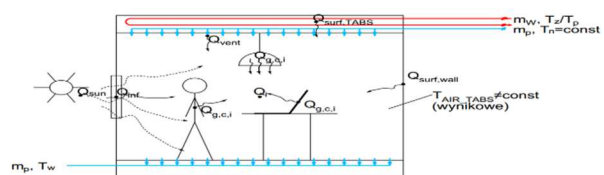
Dopuszczalne wartości temperatury przełączenia dla ogrzewania mieszczą się w przedziale $T_{Hdop} \in (T_{Hmin}, T_{Hmax})$, natomiast dopuszczalne wartości temperatury przełączenia dla chłodzenia mieszczą się w przedziale $T_{C,dop} \in (T_{Cmin}, T_{Cmax})$.

4.3.5. Bilans obciążeń termicznych dla pomieszczeń,

W klasycznych systemach powietrznych (ciepło i chłód dostarczane poprzez instalację powietrzną) obciążenia chłodnicze mają najczęściej naturę konwekcyjną. Podczas ich określania należy uwzględnić zyski ciepła wygenerowane w pomieszczeniu (od ludzi, oświetlenia, wyposażenia, itd), zyski ciepła przez przenikanie przez przegrody nieprzezroczyste (wewnętrzne oddzielające pomieszczenia klimatyzowane od innych części budynku oraz zewnętrzne oddzielające analizowane pomieszczenie od otoczenia zewnętrznego), zyski ciepła przez przegrody przezroczyste (przenikające do pomieszczenia na drodze konwekcji i promieniowania). Wszystkie te obciążenia składają się na chwilowe obciążenie chłodnicze strefy. Schematycznie składniki równania bilansu zostały przedstawione na Rys. 7 dla instalacji powietrznej HVAC i Rys. 8 dla instalacji HVAC z TABS.



Rys. 7 Obciążenia termiczne w pomieszczeniu z instalacją powietrzną HVAC

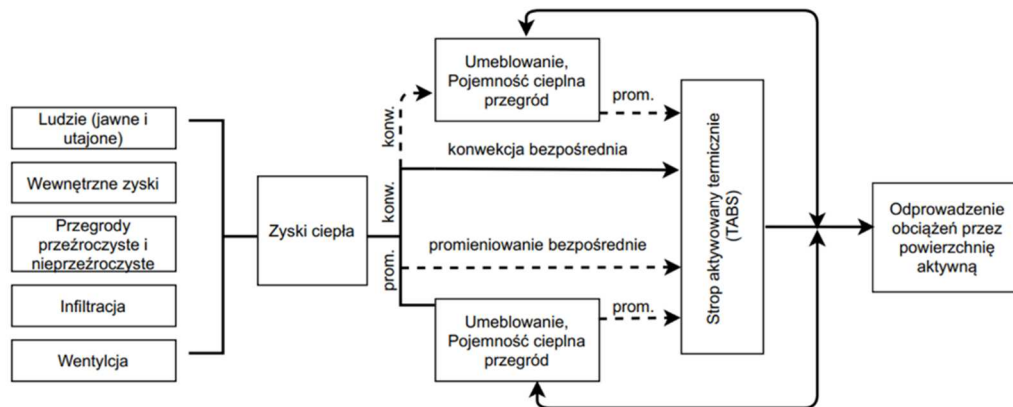


Rys. 8 Obciążenia termiczne w pomieszczeniu z instalacją powietrzną HVAC z TABS

W normie [29] projektowe obciążenie chłodnicze dla systemu radiacyjnego jest definiowane jako: wymagana jawna moc chłodnicza potrzebna do osiągnięcia określonych warunków projektowych przy zewnętrznych warunkach letnich.

Zintegrowanie systemu powietrznego z masą budynku powoduje zmianę sposobu wymieniania ciepła w strefie (Rys. 9). W przypadku systemów powietrznych obciążenia, które występują mają naturę, głównie, konwekcyjną, a w wypadku systemów radiacyjnych, do których TABS należy zaliczyć, istotną rolę odgrywa również promieniowanie pomiędzy powierzchniami. Aktywna powierzchnia chłodnicza usuwa część obciążeń chłodniczych

bepośrednio w momencie ich powstawania. W związku z tym nie wszystkie obciążenia stają się chwilowym obciążeniem chłodniczym strefy. [19]



Rys. 9 Drogi wymiany ciepła w budynkach z TABS [19]

Równanie bilansowe (4.21) dla systemów HVAC:

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{surf,i} + \dot{Q}_{transp,i} + \dot{Q}_{inf,i} + \dot{Q}_{vent} + \dot{Q}_{g,c,i} + \dot{Q}_{cpgl,i} \quad (4.21)$$

System radiacyjny usuwa ciepło jawne z pomieszczenia poprzez powierzchnię chłodzącą. Określamy stopień chłodzenia jako szybkość chłodzenia powierzchniowego. Zdefiniowanie objętości kontrolnej jako wewnętrznej powierzchni płyty chłodzącej, ze znakiem dodatnim oznacza, że ciepło jest przenoszone do objętości kontrolnej oraz z ujemnym oznacza ciepło opuszczające objętość kontrolną. Jedynie część konwekcyjnych zysków ciepła stanowi chwilowe obciążenie chłodnicze. Pozostała część częściowo przyczynia się do wzrostu temperatury, a częściowo jest przechowywana w masie budynku i usuwana przez powierzchnie radiacyjne jako powierzchniowe obciążenie chłodnicze. [19]

Powierzchniowa moc chłodnicza (wzory (4.22), (4.23)) stanowi jeden z kluczowych parametrów dla określenia wymaganej powierzchni chłodzącej i wyboru typu systemu:

$$q''_{surf} = q''_{surf,conv} + q''_{surf,rad} = -q''_{surf,cond} \quad (4.22)$$

$$q''_{surf} = q''_{surf,conv} + q''_{lw,surf} + q''_{lw,int} + q''_{sw,sol} + q''_{sw,int} \quad (4.23)$$

Hydrauliczna moc chłodnicza stanowi poziom ekstrakcji ciepła, bazujący na ciepłe usuniętym przez obwód hydrauliczny. Jest ważna dla doboru elementów instalacji po stronie wodnej systemu. Hydrauliczna moc chłodnicza jest opisana wzorem (4.24):

$$q''_{hyd} = (\dot{m}c_p)_{water} (T_{wi} - T_{wo}) \quad (4.24)$$

5. Aplikacja metody rozwiązania zagadnienia współpracy systemu HVAC z TABS i wentylacji w budynku edukacyjnym

W analizie wykorzystano program TRNSYS17, który umożliwia dynamiczną analizę systemów energetycznych, w tym budynków. TRNSYS jest powszechnie znanym narzędziem, szeroko stosowanym w pracach naukowych oraz badawczo-rozwojowych. [41, 61, 73, 77]

Model budynku w TRNSYS 17 wyposażono w bardzo dokładny moduł analizy promieniowania słonecznego, umożliwiający określenie jego dystrybucji na powierzchniach wewnętrznych. Zaawansowane modelowanie promieniowania długofalowego między powierzchniami wewnętrznymi opiera się na współczynnikach konfiguracji.

Uwzględniono również model wymiany ciepła na drodze konwekcji, który bierze pod uwagę różnicę temperatur między powierzchnią a powietrzem oraz kierunek przepływu ciepła dla powierzchni wewnętrznych.

Program posiada wbudowany model przegród aktywowanych termicznie. Pomimo że model jest dwuwymiarowy, uwzględnia nieliniowy spadek temperatury czynnika roboczego w przewodach. [31, 71]

5.1. Zakres zagadnienia - charakterystyka ogólna

Przedmiotem analizy jest pojedyncze pomieszczenie dydaktyczne z osłoną bilansową. W kontekście całego budynku współpraca pomiędzy systemem HVAC z TABS, a wentylacją stanowi istotne i obszerne zagadnienie, aby dokładnie przeanalizować te kwestie, analiza ograniczy się do skali pojedynczego pomieszczenia, dla którego przeanalizowano dwie orientacje ścian zewnętrznych (północno-wschodnią/NE i południowo-zachodnią /SW), różne harmonogramy użytkowania i obciążeń, a także dwa tryby pracy wentylacji (bez przerwy w godzinach 9:20:15 i gdy wentylacja działa wyłącznie podczas obecności ludzi w pomieszczeniu).

5.2. Model geometryczny i technologiczny pomieszczenia

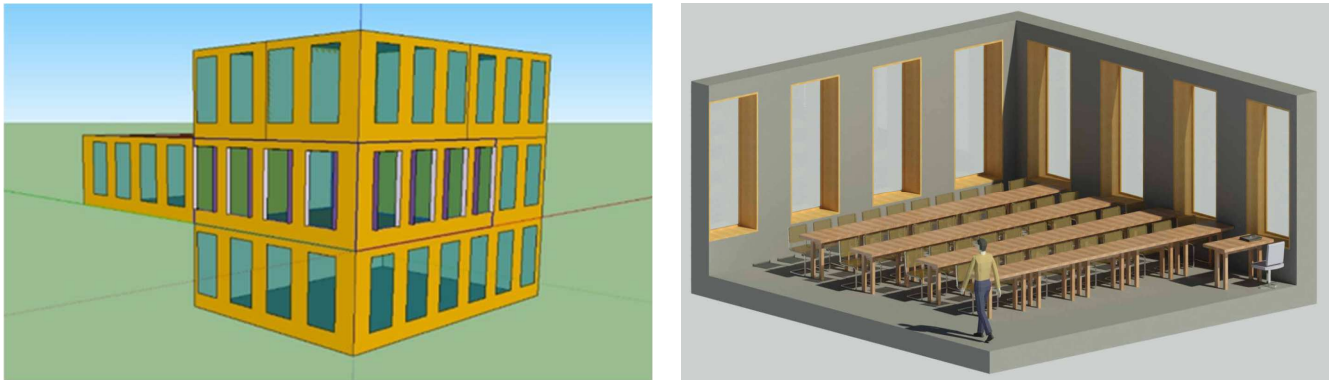
5.2.1. Model geometryczny

W celu przeprowadzenia analizy utworzono komputerowy model sali dydaktyczno-wykładowej zlokalizowanej w budynku Wydziału Architektury i Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Główne parametry fizyczne istniejącego pomieszczenia dydaktycznego oraz modelu zostały zestawione w Tab. 5.1.

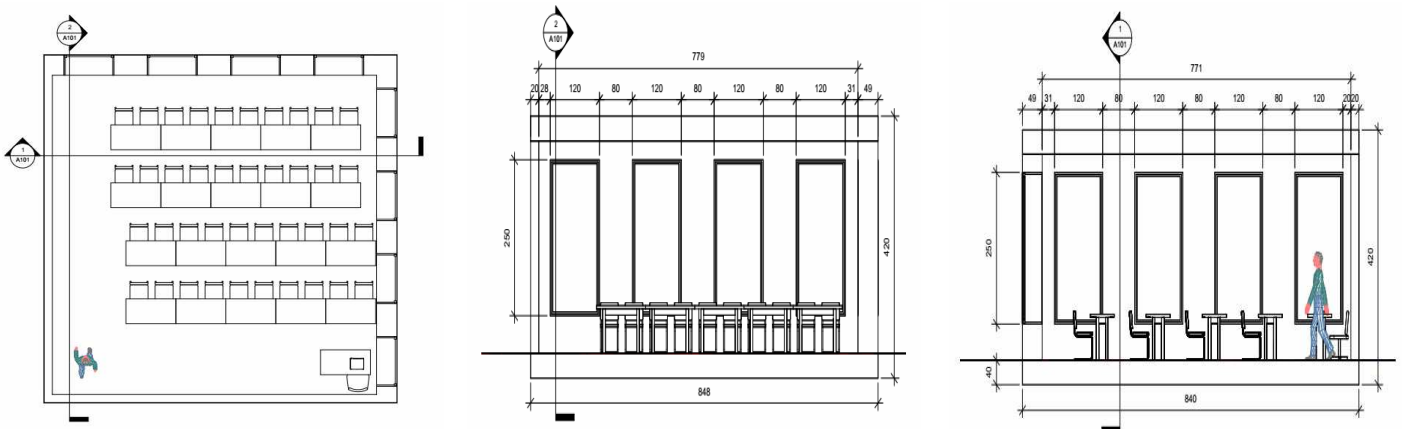
Tab. 5.1 Porównanie parametrów fizycznych w obiekcie istniejącym oraz w modelu

Parametr	Jednostka	Istniejące pomieszczenie	Model
Orientacja		NE;	NE; SW
Powierzchnia	m^2	62,45	67,9
Wysokość	m	3,3	3,3
Kubatura	m^3	206,09	230,85
Powierzchnia ściany zewnętrznej		52,89	56,03
Współczynnik przenikania ciepła przez ścianę zewnętrzną	W/m^2K	0,14	0,133
Liczba okien		8	8
Powierzchnia pojedynczego okna	m^2	3	3
Powierzchnia okien	m^2	24	24
Powierzchnia ściany zewnętrznej pomniejszona o powierzchnię okien	m^2	28,89	32,03
Współczynnik przenikania ciepła przez okno	W/m^2K	0,8	0,76
Współczynnik całkowitej przepuszczalności promieniowania słonecznego		0,53	0,585

Graficzne zobrazowanie modelu 3D wprowadzonego do programu TRNSYS17 przedstawiają Rys. 10 i Rys. 11. Model ten uwzględnia, poza analizowanym pomieszczeniem, wszystkie przestrzenie sąsiadujące z nim. Łącznie jest to osiem stref.



Rys. 10 Model pomieszczenia (3D)



Rys. 11 Rzut i przekroje geometrii modelu

Zgodnie z powszechnie przyjętą praktyką symulacyjną, przyjęto (uwzględniając wyposażenie pomieszczenia), że wewnętrzna pojemność cieplna strefy jest sześć razy większa od pojemności cieplnej samego powietrza wypełniającego przestrzeń strefy. W Tab. 5.2 zestawiono strefy, które są uwzględnione w modelu wraz z podstawowymi informacjami: powierzchnią (A), wysokością pomieszczenia (h), kubaturą (V) i pojemnością cieplną strefy (C_p).

Tab. 5.2 Strefy uwzględnione w modelu

Klasyfikacja strefy	Oznaczenie strefy	A	h	V	C_p
		m^2	m	m^3	kJ/K
Analizowana	P2_209	67,9	3,3	231	1385
Przylegająca	P2_208	34,7	3,3	115	688
Przylegająca	P2_210	58,0	3,3	191	1149
Przylegająca	P2_KOR	41,1	3,3	136	814
Przylegająca	P1_106	104,7	3,3	345	2073
Przylegająca	P3_1	52,3	3,3	173	1035
Przylegająca	P3_2	26,2	3,3	86	519
Przylegająca	P3_3	26,2	3,3	86	519

Wymiana ciepła następuje pomiędzy pomieszczeniem analizowanym oraz wszystkimi otaczającymi je przestrzeniami. Liczba wymian powietrza przez infiltrację w ciągu godziny wynosi 0,01 1/h.

5.2.2. Parametry termoizolacyjne obudowy

Przegrody nieprzeźroczyste

Parametry cieplne materiałów zostały przyjęte na podstawie informacji zawartych w literaturze oraz dostarczonych przez producentów i zaimplementowanych w programie TRNSYS17.

Tab. 5.3 Przyjęta konstrukcja stropu grzewczo-chłodzącego

Warstwa	d	λ		c_p	ρ
	m	kJ/hmK	W/mK	kJ/kgK	kg/m^3
Gress	0,02	4,680	1,3	0,84	2300
Jastrych	0,06	5,760	1,6	0,84	1800
EPS40	0,02	0,133	0,037	1,46	12,5
Żelbet	0,15	6,120	1,7	0,84	2500
Przewody aktywacji stropu grzewczo-chłodzącego					
Żelbet	0,15	6,120	1,7	0,84	2500

Tab. 5.4 Przyjęta konstrukcja ściany zewnętrznej

Warstwa	d	λ		c_p	ρ
	m	kJ/hmK	W/mK	kJ/kgK	kg/m^3
Tynk	0,015	2,952	0,82	1	1850
EPS70	0,238	0,119	0,033	1,456	13,5
Żelbet	0,24	6,120	1,7	0,84	2500

W Tab. 5.3 i Tab. 5.4 przedstawiono konstrukcje przegród, poziomej oraz ściany zewnętrznej. Wartość emisyjności promieniowania długofalowego $\varepsilon=0,9$ a współczynnik absorpcji promieniowania słonecznego $\alpha=0,6$. Opór termiczny fasady budynku $R_{lf} = 3,35 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Przegrody przeźroczyste

W modelowanym pomieszczeniu jest osiem jednakowych okien, rozłożonych równomiernie na obu elewacjach zewnętrznych (północnej i wschodniej). Parametry przyjęte dla okna przedstawiono w Tab. 5.5.

Tab. 5.5 Parametry przyjętej przegrody przeźroczystej

A _{OK}	A _{szyby}	Przeszklenie	Grubość warstw	R _{se}	R _{si}	U _{szyby}	U _{ramy}	U _{OK}	g	g _{szyby}	g _{szyby}	g _{ramy}	g _{ramy}
m^2	m^2	-	mm	$\text{m}^2\text{K/W}$	$\text{m}^2\text{K/W}$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	-	-	-	-	-
2,78	2,06	74%	4/10/4/10/4	0,06	0,33	0,52	1,45	0,76	0,585	0,27	0,84	0,6	0,9

W oparciu o otrzymaną dokumentację projektową, w modelu przyjęto ruchome zacielenie okien. Gdy budynek znajduje się w trybie chłodzenia, oraz gdy całkowite promieniowanie słoneczne na daną elewację ($Q_{tot,SUN,elev}$) przekracza 140W/m^2 , stopień zacielenia jest obliczany według równania (5.1).

$$Z_{window} = \max \left\{ \min \left[0,95; 0,1 + 0,85 \cdot \left(1 - \frac{0,2 \cdot (300 - Q_{tot,SUN,elev})}{160} \right) \right] \right\} \quad (5.1)$$

Konstrukcja stropu grzewczo-chłodzącego

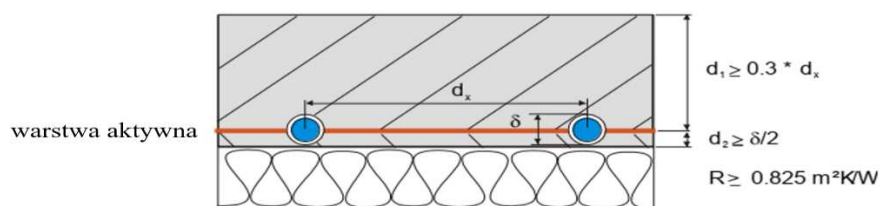
W Tab. 5.6 przedstawiono konstrukcję przegrody poziomej. Na głębokości 15 cm znajdują się przewody, w których przepływa czynnik. Czynnikiem grzewczo– chłodzącym jest woda. Charakterystyka przewodów została przedstawiona w Tab. 5.6. Całkowita długość obiegu wynosi 324,7m.

Tab. 5.6 Charakterystyka przewodów zagłębionych w stropie grzewczo-chłodzącym

Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
Średnica zewnętrzna	δ	m	0,025
Grubość ścianki	d_p	m	0,002
Współczynnik przewodzenia ciepła	λ_p	W/mK	0,35
Rozstaw	d_x	m	0,15
Całkowita długość rur	l_c	m	324,7
Długość 1 obiegu	l_j	m	47,9
Opór termiczny przewodów	R_t	m^2K/W	0,0914
Opór termiczny pomiędzy rdzeniem aktywnej przegrody a pomieszczeniem podczas ogrzewania	\tilde{R}_h	m^2K/W	0,194
Opór termiczny pomiędzy rdzeniem aktywnej przegrody a pomieszczeniem podczas chłodzenia	\tilde{R}_c	m^2K/W	0,154

Definiując w programie TRNSYS17 poziomą przegrodę aktywną należy spełnić wytyczne (Rys. 12) [72]:

- Grubość warstwy przylegającej do warstwy aktywnej (d_1) większa, lub równa iloczynowi wartości 0,3 i odstępu między rurami (d_x);
- Opór warstwy izolacyjnej nie mniejszy niż 0,825 ($m^2 K/W$);
- Grubość warstwy między warstwą aktywną (d_2) a izolacyjną większa lub równa iloczynowi 0,5 i średnicy zewnętrznej rury (δ);



Rys. 12 Ograniczenia modelu SGC w programie TRNSYS17 [72]

Przyjęte wartości zestawiono w Tab. 5.7.

Tab. 5.7 Charakterystyka geometryczna stropu grzewczo-chłodzącego

Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
Grubość górnej części stropu	d_1	m	0,15
Grubość dolnej części stropu	d_2	m	0,15
Całkowita powierzchnia podłogi	A_{fl}	m^2	67,9
Pokrycie powierzchni stropu przez TABS		-	0,7
Powierzchnia stropu pokryta przez TABS	A_{ta}	m^2	47,53

Wartość strumienia wody przepływającej w SGC przyjęto, według dokumentacji technicznej (Projekt Wykonawczy) odpowiedniej dla wzorcowego pomieszczenia i wynosi ona 10,5kg/h/m².

5.2.3. Weryfikacja modelu geometrycznego

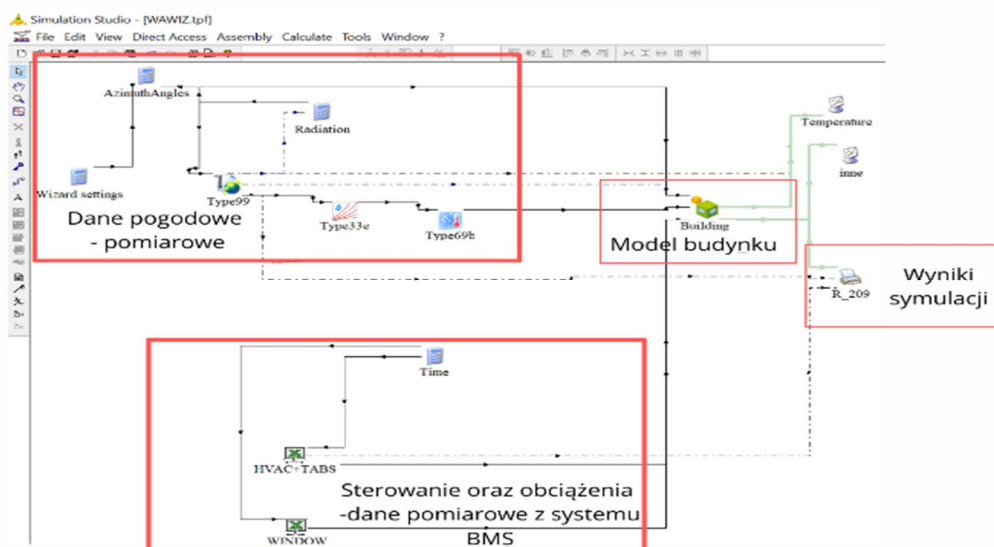
Na podstawie danych pozyskanych z systemu BMS (Building Management System, System zarządzania budynkiem) wykonano weryfikację modelu obliczeniowego. W tym celu do programu TRNSYS17 wprowadzono dane:

- Type 99 (Data Reader and Radiation Processor , odczyt danych i obliczenia promieniowania) - wprowadzono dane meteorologiczne pobrane na terenie kampusu Politechniki Poznańskiej przy wykorzystaniu CMP6 Pyranometer: temperatura powietrza zewnętrznego, wilgotność względna powietrza, promieniowanie całkowite i rozproszone [30]

- Type 62, (TRNSYS / Excel Coupling, Współpraca pomiędzy programami TRNSYS/Excel), wykorzystano dane pochodzące z systemu BMS w modułach:

- HVAC z TABS - Temperatura nastawy powietrza wentylacyjnego i strumień, temperatura wody zasilającej TABS oraz strumień
- WINDOW – stopień zacielenia okien

Te dane wprowadzono do Typu 56 będącego narzędziem do symulacji wielostrefowych budynków.



Rys. 13 Weryfikacja, okno programu TRNSYS17

Konfiguracja elementów składowych modelu w programie TRNSYS (widok okna programu TRNSYS) przedstawiono na Rys. 13 , a zestawienie danych wejściowych i wyjściowych do weryfikacji przedstawiono w Tab. 5.8.

Do celów weryfikacji i wykorzystano dane z lutego 2021, był to okres pandemii SARS-COV19 i budynek w tym okresie pozostawał przez większość czasu pusty, jednakże okresowo zarejestrowano obecność ludzi w pomieszczeniu.

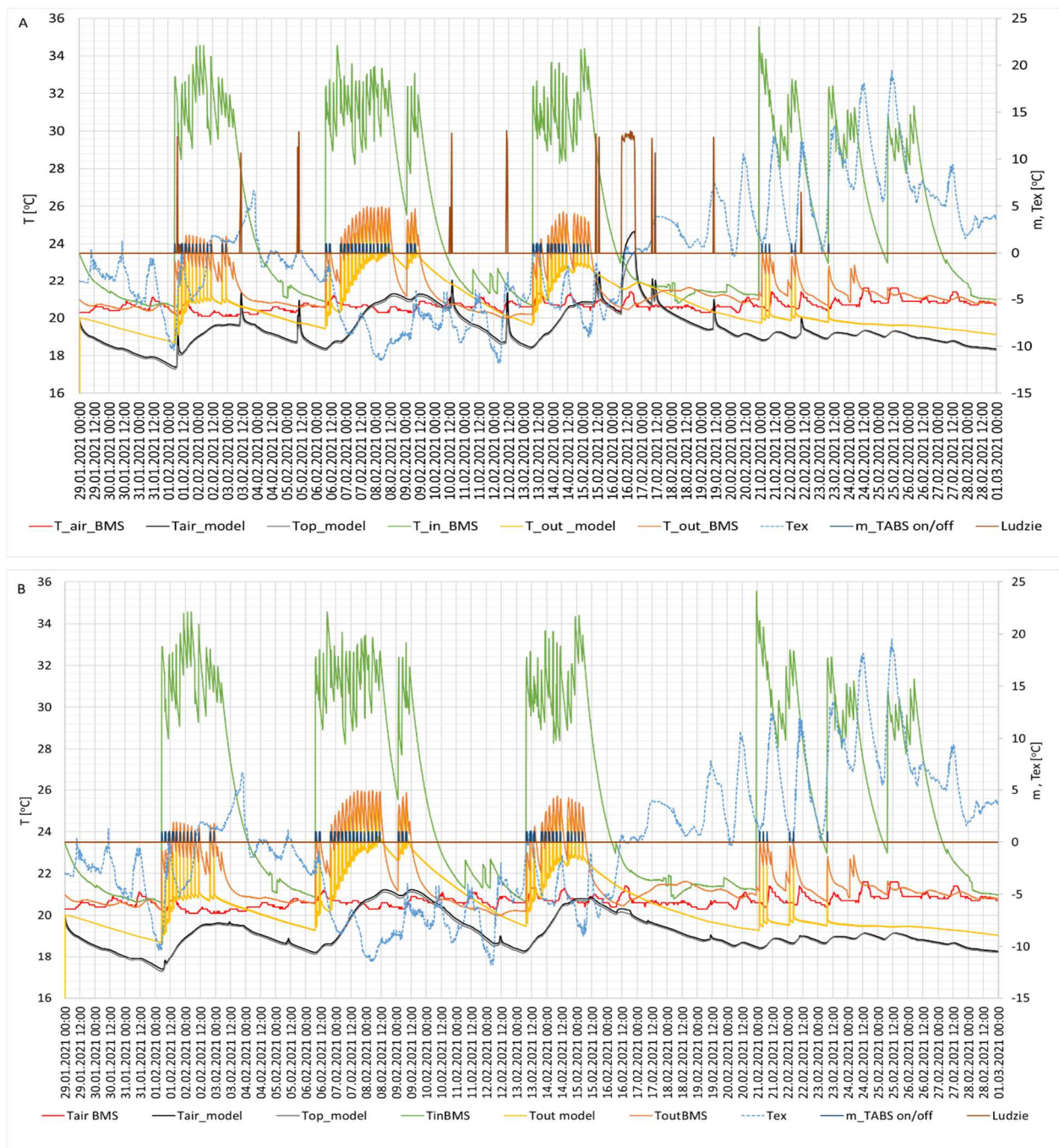
Z uwagi na brak szczegółowych informacji dotyczących liczby osób przyjęto, że liczba ta będzie stanowiła iloraz strumienia powietrza wentylacyjnego oraz wartości jednostkowego strumienia powietrza przyjętego w projekcie dla wentylacji higienicznej. Analizy wykonano dla dwóch wariantów:

- bez uwzględnienia obciążeń wewnętrznych,
- z uwzględnieniem obciążeń wewnętrznych.

Wyniki zaprezentowano na Rys. 14.

Tab. 5.8 Zestawienie danych wejściowych i wyników symulacji do celów weryfikacji modelu

Oznaczenia	Jednostka	Definicja	Wartość mierzona	Wartość obliczana	Przyjęte założenia/Uwagi
T _{ex}	[°C]	Temperatura powietrza zewnętrznego	x		Lokalizacja przyrządów pomiarowych - dach budynku A3 na terenie kampusu Politechniki poznańskiej
φ	[%]	Wilgotność względna powietrza zewnętrznego	x		
I _{GLOB_H}	[W/m ²]	Promieniowanie całkowite	x		
I _{DIFF_H}	[W/m ²]	Promieniowanie rozproszone	x		
T _{air_BMS}	[°C]	Temperatura powietrza w pomieszczeniu w istniejącym budynku	x		Ścienne czujnik temperatury
T _{air_model}	[°C]	Temperatura powietrza w modelu obliczeniowym		x	Temperatura wyznaczona na drodze symulacji w TRNSYS17
T _{in_BMS}	[°C]	Temperatura wody zasilającej strop grzewczo-chłodzący	x		Temperatura zmierzona - czujnik temperatury wody obiegowej podłączony do BMS budynku, w zespole zaworów równoważących ZZR-3
T _{out_model}	[°C]	Temperatura wody powrotnej ze stropu w modelu		x	Temperatura wyznaczona na drodze symulacji w TRNSYS17
T _{out_BMS}	[°C]	Temperatura wody powrotnej	x		Temperatura zmierzona - czujnik temperatury wody obiegowej podłączony do BMS budynku, w zespole zaworów równoważących ZZR-3
m _{TABS_on/off}	[kg/h]	Załączanie strumienia wody w stropie	x		Przyjęto na podstawie danych projektowych: 10,8 kg/h/m ² informacja o załączeniu/ wyłączeniu pompy obiegowej na podstawie danych z systemu BMS
T _{went_BMS}	[°C]	Temperatura nawiewu	x		Brak szczegółowych danych, przyjęto jako temperaturę nastawy temperatury powietrza
V _{went_BMS}	[m ³ /h]	Strumień nawiewu	x		Przyjęto na podstawie danych pomiarowych z regulatora zmiennego przepływu przekazanych do systemu BMS
n	[-]	Obecność ludzi		x	Brak danych, wyznaczono na podstawie wielkości strumienia wentylacyjnego przyjmując 36 m ³ /h/osobę



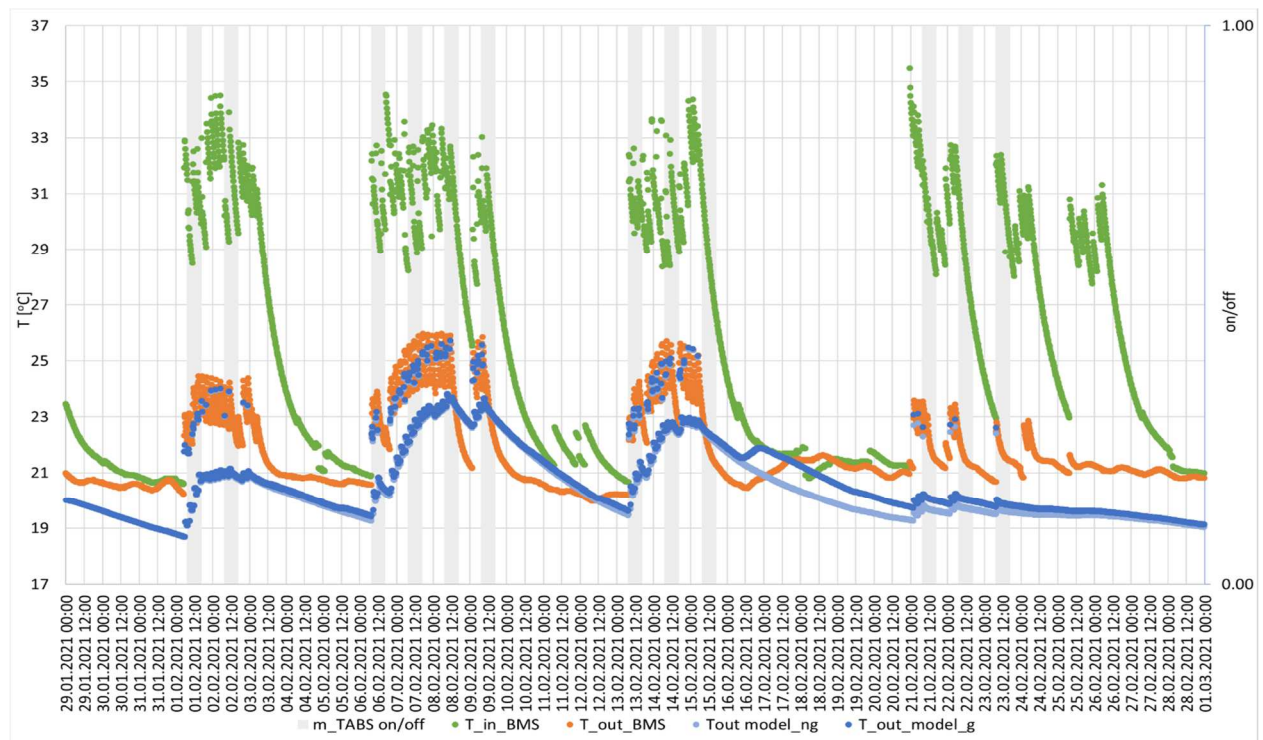
Rys. 14 Przebieg temperatury w modelu obliczeniowym i rzeczywistym obiekcie. A – bez uwzględnienia obciążeń wewnętrznych, B – z uwzględnieniem obciążeń wewnętrznych. **Kolory linii:** Czerwona (T_{air} BMS): Temperatura powietrza w pomieszczeniu w istniejącym budynku; Czarna (T_{air_model}): Temperatura powietrza w modelu obliczeniowym; Zielona ($T_{in}T$): Temperatura wody zasilającej strop grzewczo-chłodzący; Żółta (T_{out} BMS): Temperatura wody powrotnej ze stropu; Niebieska (T_{ex}): Temperatura powietrza zewnętrznego, Brązowa (ludzie) – założona liczba osób w pomieszczeniu

Wynik weryfikacji modelu obliczeniowego pracy systemu HVAC w budynku można ocenić na podstawie porównania dwóch temperatur powietrza: temperatury powietrza w pomieszczeniu w istniejącym budynku (czerwona linia) oraz temperatury powietrza w modelu obliczeniowym (czarna linia).

W modelu, który nie uwzględnia obciążeń termicznych (Rys. 14-A), różnice między temperaturą rzeczywistą (T_{air} BMS) a przewidywaną przez model (T_{air_model}) wynoszą średnio 1,55K (mediana 1,74K), gdy obciążenia są uwzględnione ta różnica wynosi średni 1,4K (mediana 1,53K). Temperatura powietrza zmierzona

w pomieszczeniu oscyluje w granicach od około 20°C do 22°C, z pewnymi fluktuacjami i okresowymi spadkami oraz wzrostami.

W modelu obliczeniowym temperatura powietrza waha się w większym zakresie, ale jej fluktuacje są bardziej wygładzone w porównaniu do rzeczywistych danych. Wartości temperatury w modelu zmieniają się w mniejszym zakresie, w przypadku A (bez uwzględniania obciążeń termicznych) oscylują w przedziale od około 17°C do 21°C, a w przypadku B od około 17°C do 22°C. W obu wariantach linie odwzorowujące temperaturę powietrza (czarna i czerwona) wykazują podobny ogólny trend zmian temperatury w ciągu miesiąca. Oznacza to, że model obliczeniowy dobrze odwzorowuje ogólne zmiany temperatury powietrza w pomieszczeniu w rzeczywistym budynku. Model uwzględniający obciążenia termiczne wykazuje mniejsze odchylenia, co wskazuje na lepsze odwzorowanie warunków wewnętrznych.



Rys. 15 Przebieg temperatury zasilającej i powrotnej w stropie grzewczo chłodzącym w modelu obliczeniowym i rzeczywistym obiekcie. ng – no gains- brak uwzględnienia obciążeń wewnętrznych; g-gains- z uwzględnieniem obciążeń wewnętrznych

Budynek, w którym znajduje się analizowane pomieszczenie jest podzielony na strefy, w których stropy grzewczo-chłodzące pracują w trybie grzania tylko co trzy godziny.

Temperatura wody powrotnej ze stropu (Rys. 15), mierzona przez system BMS jest wyższa od prognozowanej. W modelu bez uwzględnienia obciążeń termicznych, różnice te są większe, wskazuje to na brak pełnego odwzorowania obciążeń cieplnych, gdy uwzględniono obciążenia termiczne wykazuje lepszą zgodność z rzeczywistymi pomiarami.

Gdy obecność ludzi i wewnętrznych źródeł ciepła jest brana pod uwagę, poprawia się dokładność analiz.

Model nieuwzględniający obciążeń wewnętrznych (Tout_model_ng) przewiduje niższe wartości temperatury wody powrotnej w porównaniu do zmierzonych danych. Po wprowadzeniu obciążeń wewnętrznych (Tout_model_g) lepiej zostają odwzorowane zmierzone wartości temperatury wody powrotnej.

Wewnętrzne źródła ciepła, takie jak obecność ludzi i urządzeń, mają znaczący wpływ na temperaturę wody powrotnej.

Pomimo ogólnej zgodności, model obliczeniowy wykazuje mniej gwałtowne zmiany temperatury powietrza i operatywnej (linie czarna i szara) w porównaniu do rzeczywistych danych. Rzeczywista temperatura powietrza w pomieszczeniu (czerwona linia) pokazuje większe i częstsze fluktuacje. Wynika to z dynamicznych warunków środowiskowych oraz zewnętrznych czynników, których model nie uwzględnia w pełni gdyż brak w nim informacji o temperaturach w sąsiednich pomieszczeniach, wielkości ewentualnych zysków ciepła w analizowanym pomieszczeniu oraz faktycznym promieniowaniu słonecznym padającym na ściany zewnętrzne, ponieważ urządzenie pomiarowe gromadzące dane meteorologiczne jest zlokalizowane na terenie Kampusu Politechniki Poznańskiej, na dachu ośmiokondygnacyjnego budynku A3 (Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki), podane dane mogą się różnić od tych rzeczywistych.

Aktywność systemu HVAC, reprezentowana przez załączanie i wyłączenie strumienia wody w stropie (m_TABS on/off, granatowa linia), jest ściśle powiązana z temperaturą powietrza zewnętrznego oraz obecnością ludzi (szare słupki). Obecność ludzi generuje dodatkowe ciepło, dlatego zwiększa zapotrzebowanie na chłodzenie. Model uwzględniający te obciążenia lepiej odwzorowuje rzeczywiste warunki, jest to widoczne w mniejszych różnicach między przewidywanymi, a rzeczywistymi temperaturami powietrza.

Wynik weryfikacji modelu obliczeniowego można uznać za pozytywny, ponieważ zmiany temperatury powietrza w pomieszczeniu są dobrze odwzorowane. Występują różnice w amplitudzie i częstotliwości fluktuacji, ale ogólny przebieg jest zbieżny z rzeczywistymi danymi.

5.2.4. Parametry komfortu cieplnego i jakości powietrza

Budynki edukacyjne pracują według harmonogramu zajęć (plan lekcji, plan zajęć), który jest ustalony na określony czas jednego semestru. Obciążenie sal jest zmienne w czasie, zależne od liczności grup uczniów/studentów, którzy w danym semestrze będą korzystać z pomieszczeń, a także od frekwencji w poszczególnych dniach.

Podczas badań ankietowych (patrz: *Z1 Badania subiektywne i obiektywne w wybranym pomieszczeniu dydaktycznym*) sala była wypełniona w największym stopniu w dniu 4.03.2022. W trakcie zajęć o godzinie 9:45, w pomieszczeniu przebywało co najmniej 28 osób, co stanowi 68% dopuszczalnego obciążenia pomieszczenia. 25.05 o godzinie 11:45 oddano dwie ankiety co stanowi 5% dopuszczalnego wypełnienia sali.

Z uwagi na charakter pracy dydaktycznej odbywającej się w budynku edukacyjnym, akademickim np.: brak obowiązku obecności na wykładach, różne tryby realizacji zajęć ćwiczeniowych (zajęcia konsultacyjne dla „chętnych”) oraz zdarzenia losowe, nie można precyzyjnie na etapie projektowym przyjąć obciążenia, ponieważ może się ono znacząco zmieniać.

Obciążenia od ludzi w salach dydaktycznych – zyski ciepła jawnego

W salach dydaktycznych parametrem intensywnie zmieniającym się w ciągu dnia jest liczba osób przebywająca w sali zajęciowej, którą można przedstawić w odniesieniu do jednostki powierzchni (wzór (5.2):

$$i \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\text{liczba osób}}{\text{powierzchnia podłogi}}, \quad (5.2)$$

Wartość zysków ciepła od ludzi można wyznaczyć z równania (5.3), gdzie q_j oznacza jednostkowe zyski ciepła jawnego od osoby. Założona wartość jednostkowych zysków ciepła jawnego: $q_j = 75 \frac{W}{os}$ odpowiada pracy siedzącej, pisaniu.

$$q = i \cdot q_j \quad (5.3)$$

Wartość $i \in [0, i_{max}]$; i_{max} wynika z: danych technologicznych, literatury, norm.

Dla $i_{max} = 0.67 \text{ } \frac{\text{os}}{\text{m}^2} \rightarrow 1.5 \text{ } \frac{\text{m}^2}{\text{os}}$ wartość: $q_{max} = i_{max} \cdot q_j = 0.67 \cdot 75 = 50.25 \text{ } \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

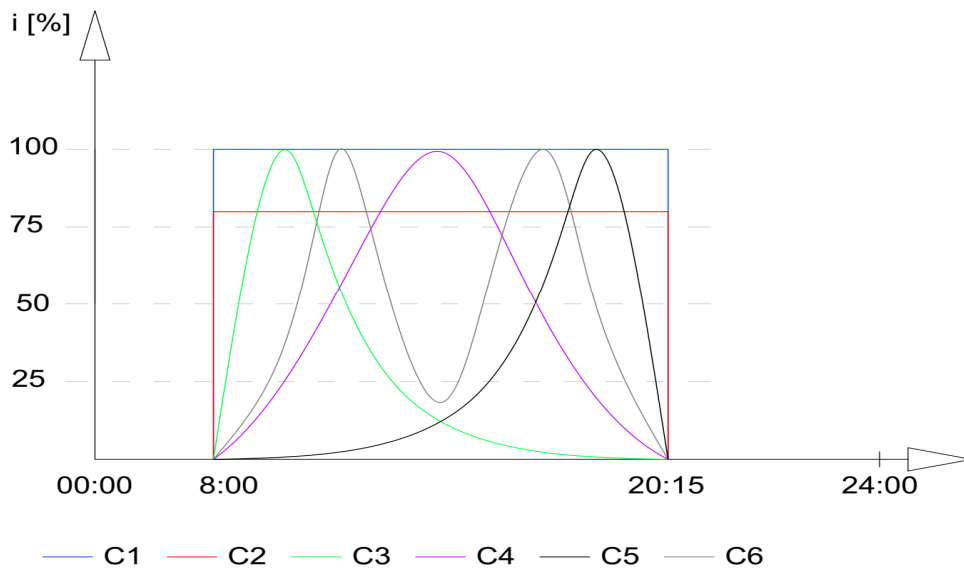
Powierzchnia pomieszczenia wynosi 67,9 m² zatem maksymalna liczba osób to 45.

Dopuszczalny przedział temperatury operatywnej wynosi 22-24°C.

Maksymalna zmiana temperatury operatywnej w ciągu 0,25h nie więcej niż 1,1K, w ciągu 1h nie więcej niż 2,2K [1].

5.2.5. Harmonogramy użytkowania

Profile obciążeń definiuje się jako obciążenie (zyskami ciepła, zanieczyszczeniami) w funkcji czasu. Inspirację dla przyjętych harmonogramów obciążeń pomieszczenia stanowiła teoria charakterystyk rozkładu [68]. W celu sprawdzenia wpływu zmieniających się w ciągu dnia obciążeń przyjęto różne rozkłady szczytowych obciążeń termicznych. Uwzględniono rozkłady: stały, normalny, asymetryczny lewo i prawo stronny a także bimodalny. Modelowy przebieg jest przedstawiony na Rys. 16, a przyjęte harmonogramy obciążeń są pokazane na Rys. 17 do Rys. 21.



Rys. 16 Warianty symulacji obciążeń

Gdzie:

C1 – obciążenie maksymalne, stałe w godzinach 8:00-20:15

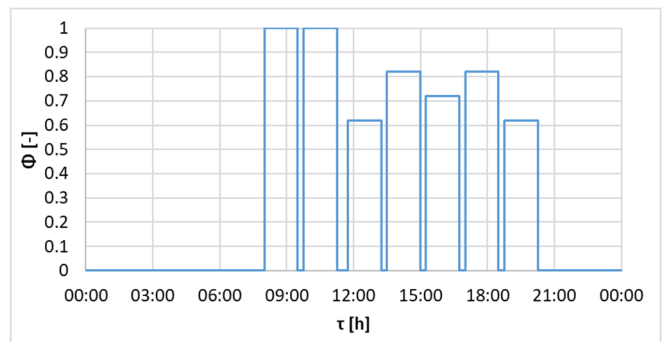
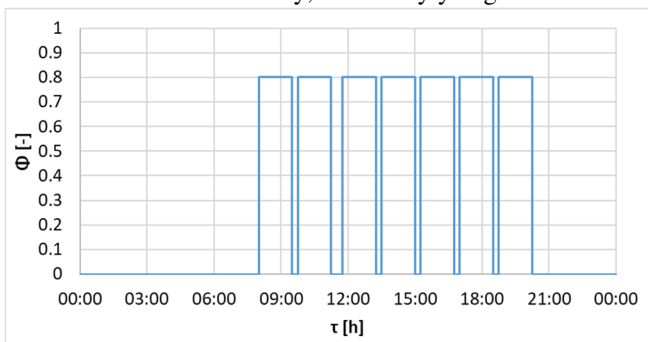
C2 – obciążenie 80%, stałe w godzinach 8:00-20:15

C3 - rozkład prawostronny, szczyt w godzinach 8:00-11:15

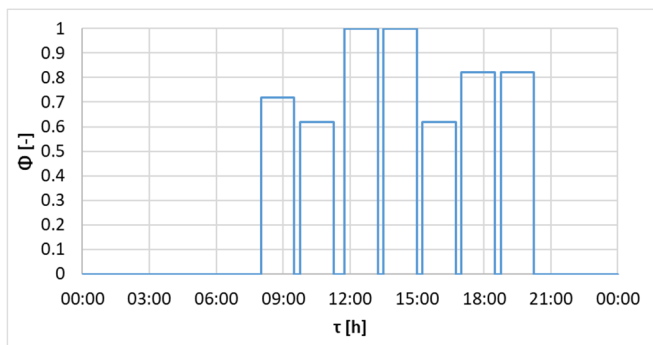
C4- rozkład normalny, szczyt w godzinach 11:45-15:00

C5 - rozkład lewostronny, szczyt w godzinach 15:15- 18:30

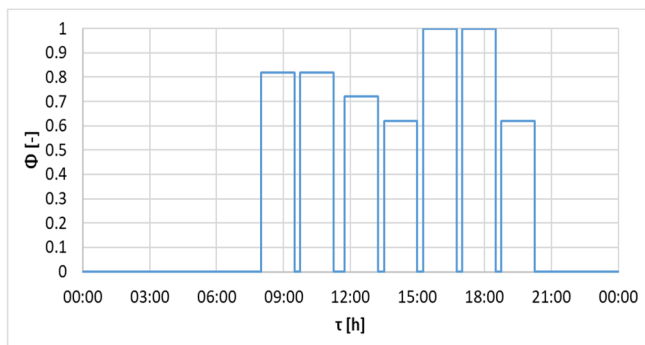
C6 - rozkład bimodalny, dwa szczyty w godzinach 9:45-11:15 i 15:15-16:45



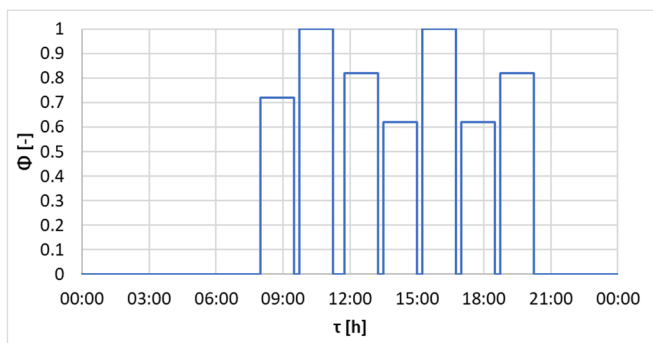
Rys. 17 C2(i80_C)



Rys. 18 C3(i80_L)



Rys. 19 C4(i80_N)



Rys. 20 C5(i80_R)

Rys. 21 C6(i80_LR)

Parametrem widocznym na osi rzędnych jest udział obciążeń chwilowych od ludzi w stosunku do obciążeń maksymalnych. Parametr ten dotyczy zarówno zysków ciepła jawnego jak i zanieczyszczeń, można go zdefiniować jako:

$$\phi \stackrel{\text{def}}{=} \frac{q_{max}}{q} = \frac{\dot{m}_{CO_2,max}}{\dot{m}_{CO_2}} \quad (5.4)$$

5.2.6. Warianty obciążeń chłodniczych

Przyjęte warianty obciążenia pomieszczenia zestawiono w Tab. 5.9, założono, że w ciągu jednego dnia zajęć całkowite obciążenie wewnętrzne pomieszczenia ma wynosić 80% wartości maksymalnej (średnia dobowa wynosi 80% maksymalnej wartości).

Tab. 5.9 Przyjęte warianty procentowego obciążenia wewnętrznego, przy założeniu 80% obciążenia w ciągu całej doby

	C2(i80_C)	C3(i80_L)	C4(i80_N)	C5(i80_R)	C6(i80_LR)
00:00	0	0	0	0	0
08:00	0	0	0	0	0
08:00	0,8	1	0,72	0,82	0,72
09:30	0,8	1	0,72	0,82	0,72
09:30	0	0	0	0	0
09:45	0	0	0	0	0
09:45	0,8	1	0,62	0,82	1
11:15	0,8	1	0,62	0,82	1
11:15	0	0	0	0	0
11:45	0	0	0	0	0
11:45	0,8	0,62	1	0,72	0,82
13:15	0,8	0,62	1	0,72	0,82
13:15	0	0	0	0	0
13:30	0	0	0	0	0
13:30	0,8	0,82	1	0,62	0,62

	C2(i80_C)	C3(i80_L)	C4(i80_N)	C5(i80_R)	C6(i80_LR)
15:00	0,8	0,82	1	0,62	0,62
15:00	0	0	0	0	0
15:15	0	0	0	0	0
15:15	0,8	0,72	0,62	1	1
16:45	0,8	0,72	0,62	1	1
16:45	0	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0	0
17:00	0,8	0,82	0,82	1	0,62
18:30	0,8	0,82	0,82	1	0,62
18:30	0	0	0	0	0
18:45	0	0	0	0	0
18:45	0,8	0,62	0,82	0,62	0,82
20:15	0,8	0,62	0,82	0,62	0,82
20:15	0	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0	0

5.3. Model symulacyjny działania systemu HVAC z TABS i systemu wentylacji

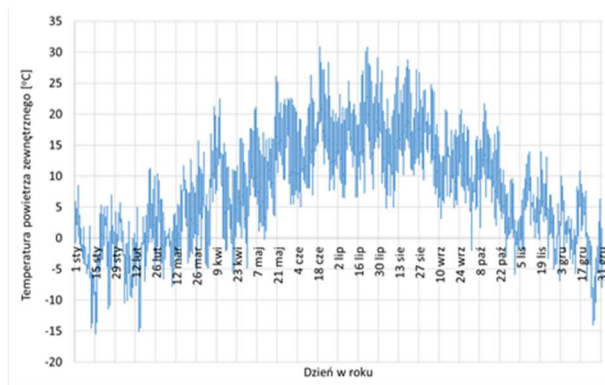
5.3.1. Założenia i dane wejściowe

Do przeprowadzenia obliczeń cieplnych w programie TRNSYS17 utrzymano wartości domyślne wielkości fizycznych (Tab. 5.10), które zostały przyjęte jako stałe.

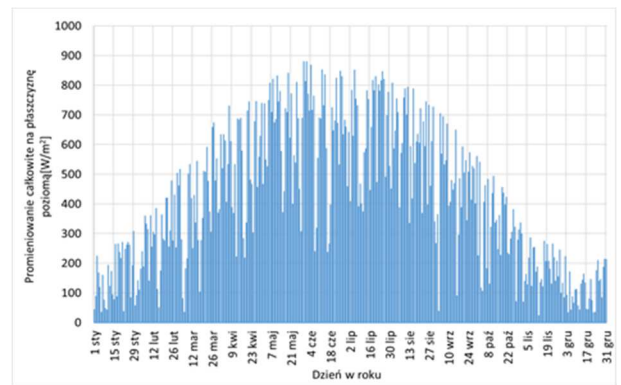
Tab. 5.10 Stałe wielkości fizyczne

Wielkość	Jednostka	Wartość
Gęstość powietrza	kg/m^3	1,204
Ciepło właściwe powietrza	$kJ/(kgK)$	1,012
Ciepło właściwe wody	$kJ/(kgK)$	4,180
Cięnienie atmosferyczne	Pa	101325
Ciepło parowania wody	kJ/kg	2454
Stała Stefana-Boltzmana	$W/(m^2K^4)$	5,67E-08

Parametry stałe, zmienne decyzyjne



Rys. 22 Temperatura powietrza zewnętrznego według Typowego Roku Meteorologicznego (Meteonorm) dla Poznania



Rys. 23 Promieniowanie całkowite na płaszczyznę poziomą (Meteonorm) dla Poznania

- Dane klimatyczne:
 - temperatura powietrza i gruntu,
 - promieniowanie słoneczne: bezpośrednie i rozproszone.

W modelu skorzystano z Typowego Roku Meteorologicznego (Meteonorm) dla miasta Poznania, dostępnego w TRNSYS17. Rys. 22, Rys. 23 przedstawiają roczny przebieg temperatury powietrza i promieniowania całkowitego na płaszczyznę poziomą.

- Warunki w strefach przylegających do analizowanej przestrzeni:

Identycznie jak w pomieszczeniu modelowym przyjęto:

- Parametry przegród poziomych i pionowych;
- Parametry działania stropu grzewczo-chłodzącego;
- Parametry okien i ich zacienienia;

Temperatura w przestrzeniach przylegających mieści się w przedziale 22 – 24°C.

Pomiędzy strefami następuje wymiana ciepła.

- Sposób użytkowania
 - Wewnętrzne zyski ciepła wynikające z aktywności ludzkiej oraz funkcji i urządzeń wewnątrz budynku;

- Wewnętrzne zyski wilgoci, które wynikają z procesów takich jak oddychanie, gotowanie czy korzystanie z urządzeń domowych;
- Harmonogram użytkowania;

Tab. 5.11 stanowi tabelaryczne zestawienie parametrów stałych.

Tab. 5.11 Parametry stałe

Parametry stałe		
Lp.	Nazwa	Wartość
Budynek		
1	Lokalizacja	-
2	Parametry technologiczne/komponenty budynku/system HVAC	-
Pomieszczenie		
3	Przeznaczenie	-
4	Orientacja ścian zewnętrznych	-
5	Harmonogram użytkowania	-
6	Powierzchnia	A, m ²
7	Wysokość	H, m
8	Kubatura	V, m ³
9	Powierzchnia ściany zewnętrznej	A _{Sz} , m ²
10	Liczba okien	n, szt
11	Powierzchnia okien	A _{ok} , m ²
12	Obciążenia wewnętrzne	Q _g , W
Parametry klimatu zewnętrznego		
13	Parametry obliczeniowe wg norm (lato, zima)	T _{ex} , °C φ _Z , %
14	Rok porównawczy (TRY - test Reference Year)	T _{ex} =f(τ) X _{ex} =f(τ)
15	Stałe kaloryczne powietrza i wody (c _p – ciepło właściwe, h – entalpia właściwa)	c _p , kJ/kgK h, kJ/kg
16	Parametry konstrukcji budynku, parametry termoizolacyjne przegród budowlanych (okna, drzwi, ściany, strop, TABS)	λ, W/mK U, W/m ² K
Parametry stałe normowane		
17	Funkcja użytkowa	T _{op} ∈ [T _{op,min} , T _{op,max}]

Warunki ograniczające, funkcja celu

Przyjęto następujące warunki ograniczające:

- Dopuszczalny przedział temperatury operatywnej przyjęto 22-24°C;
- Maksymalna zmiana temperatury operatywnej w ciągu 0.25h nie więcej niż 1.1K, w ciągu 1h nie więcej niż 2.2K [1];
- Graniczne temperatury powierzchni wynikające z ryzyka wykoplenia, wyliczono w oparciu o [54, 69]:

Ciśnienie nasycenia pary wodnej p_w w temperaturze, przyjęto [69]:

- 22°C wynosi 2,644kPa;
- 24°C wynosi 2,984kPa.

Zawartość wilgoci w powietrzu przy ciśnieniu atmosferycznym 101,325kPa i wilgotności względnej 60% wyznaczono z równania (5.5):

$$x = \frac{N \cdot \varphi \cdot p_w}{p_a - \varphi \cdot p_w} \quad (5.5)$$

Gdzie:

N - iloraz mas molowych pary wodnej i powietrza, $N=0,62198$

φ – wilgotność względna powietrza, %

p_a – ciśnienie atmosferyczne, kPa

p_w – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu, kPa

Dla temperatury powietrza równej 22°C i wilgotności 60% zawartość wilgoci $x = 0,00989 \frac{\text{kg}}{\text{kg powietrza suchego}}$,

a w powietrzu o temperaturze 24°C i wilgotności 60% wynosi $x = 0,0112 \frac{\text{kg}}{\text{kg powietrza suchego}}$.

Temperatura punktu rosy z równania [54, 69]:

$$T_R = 14,63 \cdot \ln\left(\frac{p_o}{600,245}\right) \quad (5.6)$$

Gdzie

p_o – ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa

$$p_o = \frac{p_a \cdot x}{N + x} \quad (5.7)$$

Podstawiając do (5.7) dla temperatury 22°C, zawartości wilgoci 9,89 g/kg powietrza suchego i wilgotności względnej 60% otrzymano $p_o=1,586\text{kPa}$, a dla temperatury 24°C, zawartości wilgoci 11,19 g/kg powietrza suchego i wilgotności względnej 60% otrzymano $p_o=1,79\text{kPa}$.

Po wyliczeniu równania (5.6) otrzymano wartości temperatur punktu rosy:

- dla powietrza o temperaturze 22°C, zawartości wilgoci 9,89 g/kg powietrza suchego i wilgotności względnej 60% $T_R=14,22^\circ\text{C}$
- dla powietrza o temperaturze 24°C, zawartości wilgoci 11,19 g/kg powietrza suchego i wilgotności względnej 60% $T_R=15,99^\circ\text{C}$

5.3.2. Warianty współpracy systemu TABS i wentylacji

Analizę przeprowadzono dla dwóch wariantów działania systemu: wentylacja w funkcji higienicznej (DCV), wentylacja o rozszerzonej funkcji o odprowadzanie obciążeń termicznych (VAV)

System HVAC z TABS i wentylacją działającą w funkcji higienicznej (DCV)

Strumień zanieczyszczeń emitowany przez ludzi wykonujących pracę biurową $\dot{m}_{CO_2} = (19 \div 24) \frac{\text{dm}^3 CO_2}{\text{h}}$

Minimalny strumień powietrza (wzór (5.8)):

$$\dot{V}_c = n \cdot V \quad (5.8)$$

n - liczba osób

V - wymagany strumień powietrza dla jednej osoby, m^3/h

Według [15] minimalny strumień powietrza wentylacyjnego dla jednej osoby założono $30\text{m}^3/\text{h}$.

Tab. 5.12 Strumień higieniczny powietrza wentylacyjnego dla różnych poziomów obciążenia pomieszczenia

Obciążenie	n	\dot{V}_c
	[-]	$[\text{m}^3/\text{h}]$
100%	45	1350
80%	36	1080
60%	27	810
40%	18	540
20%	9	270

Różnica temperatury pomiędzy powietrzem nawiewanym i usuwanym z pomieszczenia wynosi 0K, system wentylacyjny nie bierze udziału w odprowadzeniu obciążeń termicznych.

System HVAC z TABS i wentylacją działającą w funkcji rozszerzonej (system VAV)

Obciążenia termiczne w części są odprowadzane poprzez system TABS, a częściowo przez wentylację (wzór (5.9)):

$$q_c = q_{c,TABS} + q_{c,(VAV)} \quad (5.9)$$

q_c – całkowite obciążenie systemu HVAC

$q_{c,TABS}$ – część obciążenia odprowadzana przez TABS

$q_{c,(VAV)}$ – część obciążenia odprowadzana przez system powietrzny (VAV)

Ogólnie $q_c = f(\tau)$, a wartości chwilowe q_e , $q_{e,TABS}$ i $q_{e,(VAV)}$, można wyznaczyć na podstawie symulacji TRNSYS17.

Strumień powietrza w systemie (VAV) dla odprowadzenia części obciążeń chłodniczych wynosi (wzór (5.10)):

$$\dot{V}_c = \frac{q_{c,(VAV)}}{\rho \cdot c_p \cdot (t_W - t_N)} = \frac{q_{c,(VAV)}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta t} \quad (5.10)$$

Założenia:

$\Delta t \rightarrow (2 \div 4)^\circ\text{C}$ nawiew źródłowy (tylko obciążenie chłodnicze);

$\Delta t \rightarrow (6 \div 8)^\circ\text{C}$ nawiew strumieniowy o dużej indukcji;

Składnikiem całkowitego obciążenia chłodniczego $q_e = f(\tau)$ są zyski ciepła jawnego od ludzi.

Można zatem sformułować przyporządkowanie (wzór (5.11), (5.12)):

$$q_c = f(g) \text{ lub } q_c = f(i) \quad (5.11)$$

Oraz:

$$\dot{V}_c = f(g) \text{ lub } \dot{V}_c = f(i) \quad (5.12)$$

Istnieją takie przedziały:

$i \in (0, i_{DCV}^{max}]$ - gęstości osób lub

$q \in (0, q_{DCV}^{max}]$ - obciążeń chłodniczych (zysków ciepła) od ludzi,

dla których całkowite obciążenie chłodnicze odprowadza system HVAC z (TABS+DCV), wówczas (wzór (5.13)):

$$\dot{V}_c = \dot{V}_e \quad (5.13)$$

Dla przedziałów:

$i \in (i_{DCV}^{max}, i_{max}]$ - gęstości osób lub

$q \in (q_{DCV}^{max}, q_{max}]$ - gęstość obciążeń chłodniczych (zysków ciepła) od ludzi,

całkowite obciążenia chłodnicze odprowadza system HVAC z (TABS+VAV).

Wynikowo zatem (wzór (5.14)):

$$q_c \rightarrow \begin{matrix} q_{c,DCV}, i \in (0, i_{DCV}^{max}] \text{ lub } q \in (0, q_{DCV}^{max}], \dot{V}_c = \dot{V}_e \\ q_{c,VAV}, i \in (i_{DCV}^{max}, i_{max}) \text{ lub } q \in (q_{DCV}^{max}, q_{max}), \dot{V}_c = \frac{q_{c,(DCV+VAV)}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta t} \end{matrix} \quad (5.14)$$

5.4. Krzywe grzania i chłodzenia, metoda wyznaczania

5.4.1. Współczynniki kierunkowe krzywych grzania i chłodzenia, metoda UBB

Kroki metody:

1. Wyznaczenie górnej i dolnej granicy zysków ciepła

Dla $T_{sw} = T_{oa} = 0^{\circ}\text{C}$, dla różnych wariantów obciążenia (100%, 80%, 60%, 25%, 0%) sprawdzono zmianę temperatury w dniu 15.06 (dla orientacji NE, północno-wschodniej) oraz 12.06 (dla orientacji SW, południowo-zachodniej), gdy przyrost temperatury wewnątrz pomieszczenia w wyniku wewnętrznych obciążeń cieplnych był największy. Wartość przyrostu została wykorzystana do wyznaczenia krzywej chłodzenia.

Tab. 5.13 Zestawienie najwyższej i najniższej temperatury w dobie najcieplejszej dla pomieszczeń o orientacji NE i SW

Obciążenie	T_{\min} [°C]	T_{\max} [°C]	$\Delta T_{r,ub}$ [K]
100% NE	4,02	9,46	5,44
100% SW	3,65	9,62	5,97
80% NE	3,54	8,24	4,7
80% SW	5,25	10,6	5,35
60% NE	3,05	7,01	3,96
60% SW	2,74	7	4,26
25% NE	2,2	4,86	2,67
25% SW	1,9	4,75	2,84
0% NE	1,58	3,27	1,69
0% SW	1,28	3,12	1,85

Dla $T_{sw} = T_{oa} = 0^{\circ}\text{C}$, sprawdzono zmianę temperatury w dniu 24.12, gdy wewnętrzne zyski ciepła występowały wyłącznie na drodze promieniowania (Obciążenie pomieszczenia 0%).

W przypadku orientacji pomieszczenia północno-wschodniej, minimalna temperatura w pomieszczeniu wynosiła $-0,16^{\circ}\text{C}$, a maksymalna $+0,84^{\circ}\text{C}$. Zmiana temperatury $\Delta T_{r,lb}$ to 1K – ta wartość została wykorzystana do wyznaczenia krzywej grzewczej we wszystkich wariantach.

W przypadku orientacji pomieszczenia południowo-zachodniej, minimalna temperatura w pomieszczeniu wynosiła $-0,12^{\circ}\text{C}$, a maksymalna $0,76^{\circ}\text{C}$. Zmiana temperatury $\Delta T_{r,lb}$ to 0,88K – ta wartość została wykorzystana do wyznaczenia krzywej grzewczej we wszystkich wariantach.

W oparciu o wzory (4.9) i (4.10) wyznaczono ekwiwalentne, maksymalne i minimalne obciążenia wewnętrzne (Tab. 5.14)

Tab. 5.14 Ekwiwalentne maksymalne i minimalne przyrosty obciążeń wewnętrznych dla pomieszczeń o orientacji NE i SW

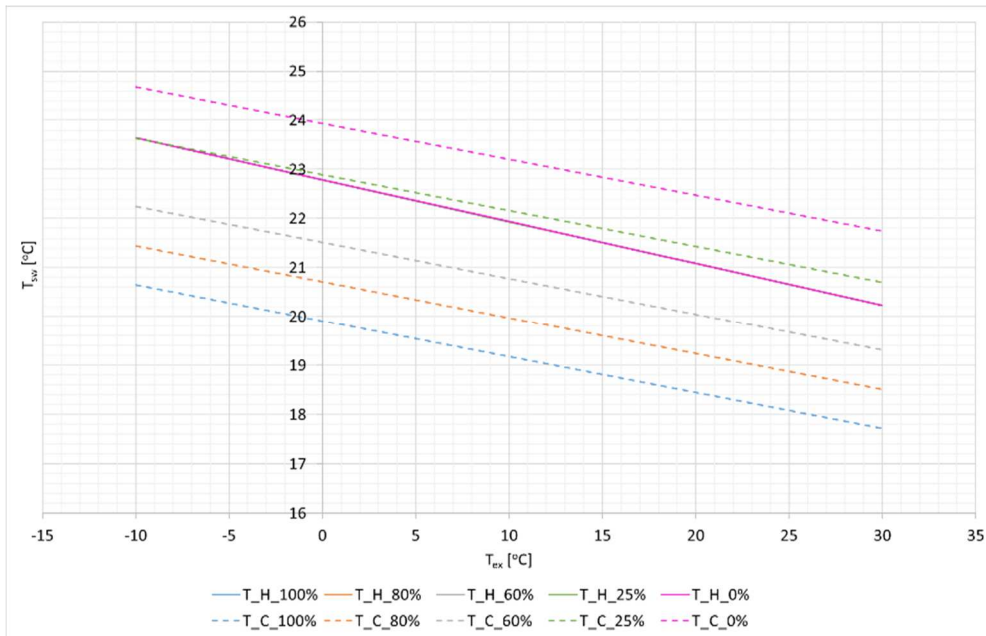
Obciążenie		100%	80%	60%	25%	0%
$\dot{q}_{g,elb\ NE}$	W/m^2K	3,80	3,80	3,80	3,80	3,79
$\dot{q}_{g,elb\ SW}$	W/m^2K	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34
$\dot{q}_{g,eub\ NE}$	W/m^2K	23,79	20,56	17,29	11,65	7,40
$\dot{q}_{g,eub\ SW}$	W/m^2K	26,1	23,38	18,62	12,42	8,07

Maksymalne przyrosty obciążeń wewnętrznych różnią się między pomieszczeniami NE i SW. W pomieszczenia południowo-zachodnim (SW) wymagana będzie większa moc chłodnicza w sytuacjach pełnego obciążenia w porównaniu do pomieszczeń północno-wschodnich (NE).

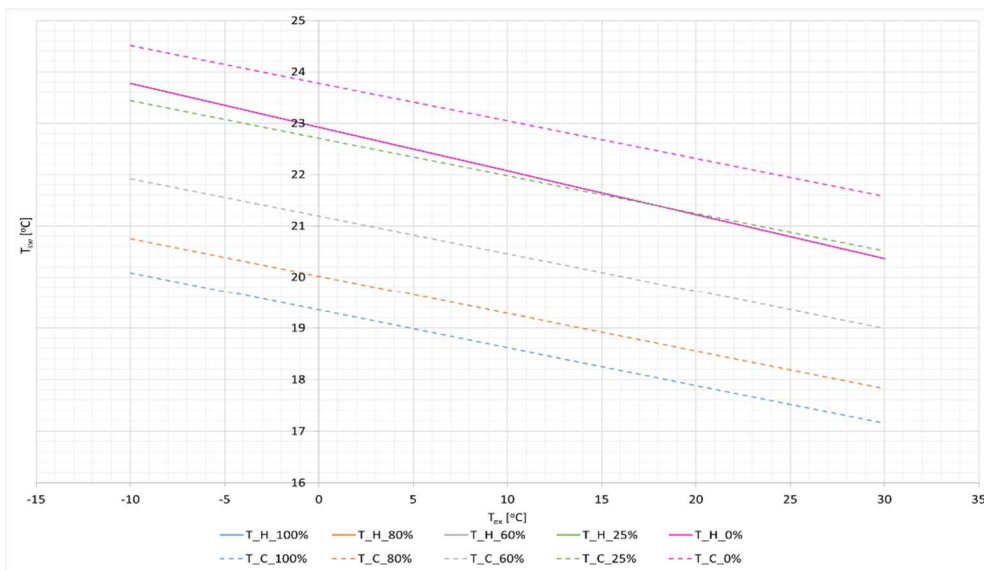
2. Wyznaczenie krzywych grzania i chłodzenia

Krzywe grzania i chłodzenia wyznaczono w oparciu o metodę UBB, na podstawie równań (4.13) i (4.14).

Krzywa grzania jest identyczna we wszystkich wariantach dla danej orientacji. Założono, że minimalne obciążenie pomieszczenia w każdym z przypadków jest takie samo i odpowiada ono sytuacji, gdy obciążenia chłodnicze na skutek działania wewnętrznych źródeł ciepła są zbliżone do zera. Dla chłodzenia wyznaczono indywidualne równania temperatury wody zasilającej, odpowiadające poziomowi obciążenia sali dydaktycznej. Krzywe grzania i chłodzenia są wyznaczone osobno dla każdej orientacji.



Rys. 24 Przebieg krzywych grzewczej i chłodniczych dla różnych poziomów obciążenia sali dla pomieszczenia o orientacji NE



Rys. 25 Przebieg krzywych grzewczej i chłodniczych dla różnych poziomów obciążenia sali dla pomieszczenia o orientacji SW

Zestawienie współczynników kierunkowych dla krzywych grzania i chłodzenia przedstawiono w

Tab. 5.15 i Tab. 5.16. Ich przebieg jest zilustrowany na Rys. 24 i Rys. 25.

Tab. 5.15 Współczynniki kierunkowe krzywych grzania i chłodzenia dla pomieszczenia o orientacji NE

Obciążenie	y=ax+b	Tryb	a	x	b
100%	Tsw_100%	Chłodzenie (C)	-0,0733	T_{ex}	19,915
		Grzanie (H)	-0,0852	T_{ex}	22,789
80%	Tsw_80%	Chłodzenie (C)	-0,0733	T_{ex}	20,709
		Grzanie (H)	-0,0852	T_{ex}	22,789
60%	Tsw_60%	Chłodzenie (C)	-0,0733	T_{ex}	21,513
		Grzanie (H)	-0,0852	T_{ex}	22,789
25%	Tsw_25%	Chłodzenie (C)	-0,0733	T_{ex}	22,897
		Grzanie (H)	-0,0852	T_{ex}	22,789

Tab. 5.16 Współczynniki kierunkowe krzywych grzania i chłodzenia dla pomieszczenia orientacji SW

Obciążenie	y=ax+b	Tryb	a	x	b
100%	Tsw_100%	Chłodzenie (C)	-0,0733	T_{ex}	19,349
		Grzanie (H)	-0,0852	T_{ex}	22,922
80%	Tsw_80%	Chłodzenie (C)	-0,0733	T_{ex}	20,016
		Grzanie (H)	-0,0852	T_{ex}	22,922
60%	Tsw_60%	Chłodzenie (C)	-0,0733	T_{ex}	21,187
		Grzanie (H)	-0,0852	T_{ex}	22,922
25%	Tsw_25%	Chłodzenie (C)	-0,0733	T_{ex}	22,708
		Grzanie (H)	-0,0852	T_{ex}	22,922

Temperatura przełączenia, jest to wartość temperatury powietrza zewnętrznego po osiągnięciu której następuje zmiana trybu pracy stropu grzewczo chłodzącego pomiędzy grzaniem, pauzą i chłodzeniem.

3. Wyznaczenie temperatur przełączenia trybu grzania i chłodzenia w oparciu o metodę UBB

Wyznaczenie temperatur przełączenia (Tab. 5.17), zgodnie z metodą UBB, dokonano w oparciu o wzory (4.15) i (4.16). Temperatura rozpoczęcia trybu chłodzenia w wariantach z dużym obciążeniem (powyżej 60%) znajduje się poniżej temperatury zakończenia trybu grzania, dlatego nie można wyznaczyć temperatury przełączenia w oparciu o metodę Unknown-But-Bounded.

Tab. 5.17 Temperatury przełączenia dla funkcji grzania i chłodzenia wyznaczone w oparciu o metodę UBB dla pomieszczeń o orientacji NE i SW

Obciążenie		100%	80%	60%	25%	0%
$T_{oa,LmH NE}$	$^{\circ}C$	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
$T_{oa,LmH SW}$	$^{\circ}C$	21,12	21,12	21,12	21,12	21,12
$T_{oa,LmC NE}$	$^{\circ}C$	18,56	19,30	20,04	21,33	22,31
$T_{oa,LmC SW}$	$^{\circ}C$	18,03	18,65	19,74	21,16	22,15

5.4.2. Symulacja obciążeń termicznych, dopuszczalne przedziały wartości temperatury przełączenia dla funkcji grzania i chłodzenia

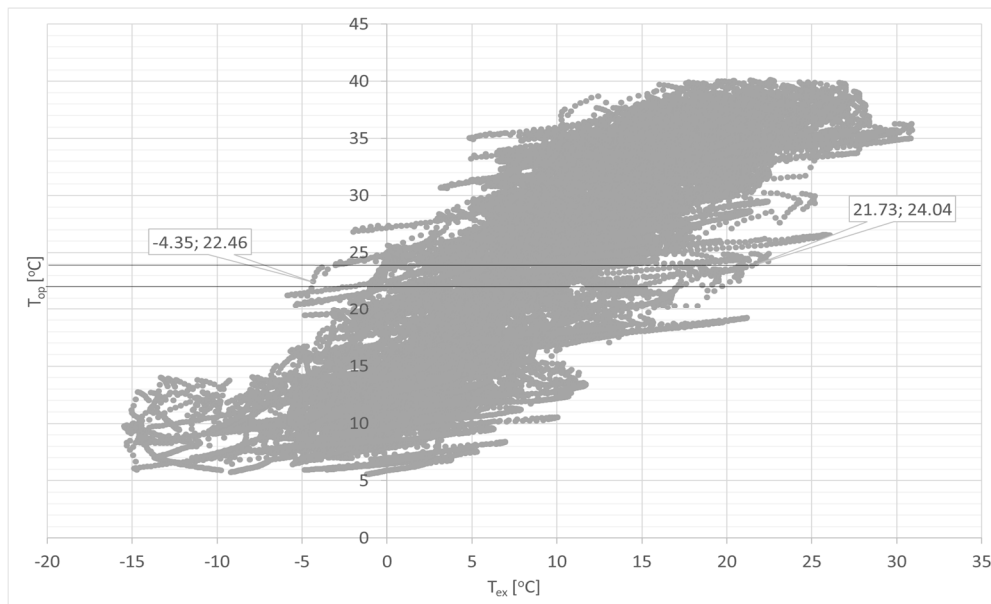
Stawiając hipotezę badawczą w celu wyznaczenia krzywych grzania i chłodzenia (temperatur przełączenia) analizowana jest zmienność obciążeń termicznych dla pomieszczenia bez działających systemów ogrzewania i chłodzenia.

Założono, że na podstawie takiej analizy symulacyjnej możliwe będzie wyznaczenie kresów górnego i dolnego przedziałów temperatury przełączenia dla krzywych grzania i chłodzenia systemu TABS (jako elementu systemu HVAC).

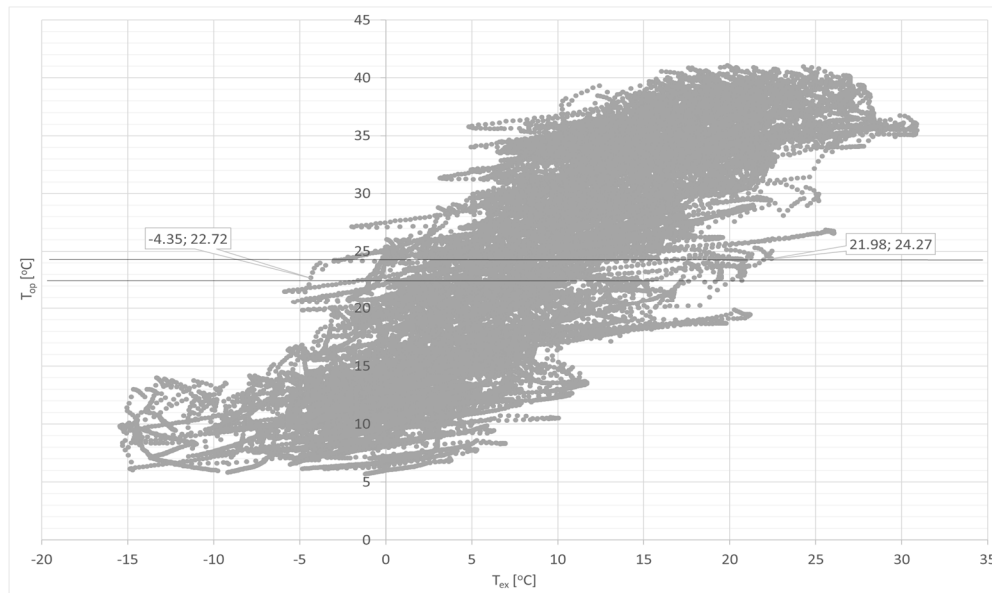
Wyznaczenie temperatury przełączenia trybu działania TABS na podstawie zbioru przyporządkowanych wartości temperatury

Metoda UBB dedykowana jest dla przypadków, w których wewnętrzne obciążenia chłodnicze nie zmieniają się w szerokim przedziale. W przypadku budynków edukacyjnych o dużych i dynamicznie zmieniających się wewnętrznych obciążeniach chłodniczych (dużych różnicach między obciążeniem minimalnym i maksymalnym), metoda UBB nie daje możliwości wyznaczenia temperatury przełączenia trybu działania stropu (grzanie-pauza - chłodzenie). W związku z brakiem możliwości wyznaczenia temperatury przełączenia w oparciu o algorytm metody UBB, proponuje się autorskie rozwiązanie. Kroki postępowania:

1. Symulacja obciążeń termicznych pomieszczenia w ciągu całego roku, przy założeniu wyłączonego systemu HVAC – braku aktywnego odprowadzania obciążeń termicznych (zysków lub strat ciepła jawnego).
2. Wyznaczenie - na podstawie symulacji obciążeń termicznych - zależności temperatury odczuwalnej (T_{op}) w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego (T_e) – wynikowo w formie chmury punktów w układzie współrzędnych $T_{op} = f(T_e)$.
3. Wyznaczenie kresów dolnych - $T_{e,min}$ i kresów górnych - $T_{e,max}$ przedziałów temperatury powietrza zewnętrznego T_e w obszarze chmury punktów $T_{op} = f(T_e)$, dla T_{op} w przedziale oczekiwanej temperatury odczuwalnej (22, 24)°C.
4. Na podstawie otrzymanej chmury punktów (Rys. 26, Rys. 27) dla oczekiwanego przedziału temperatury odczuwalnej (22÷24 °C) określenie odpowiadającej mu średniej temperatury zewnętrznej $T_{e,śr}$.



Rys. 26 Zbiór punktów temperatury dla wariantu 80% obciążenia w pomieszczeniu o orientacji NE



Rys. 27 Zbiór punktów temperatury dla wariantu 80% obciążenia w pomieszczeniu o orientacji SW

5. Utworzenie zbioru par parametrów: temperatury przełączenia dla grzania – T_H i chłodzenia – T_C z przedziału (T_{emin}, T_{emax}) – wynikowo $T_H, T_C \in (T_{emin}, T_{emax})$.

Szerokość przedziału wyłączenia stropu (pauzy) $\Delta T = T_{emax} - T_{emin}$. Obliczeniowo definiuje się we wzorach (5.15) i (5.16):

$$T_{e,H} = T_{e,śr} - \Delta T \quad (5.15)$$

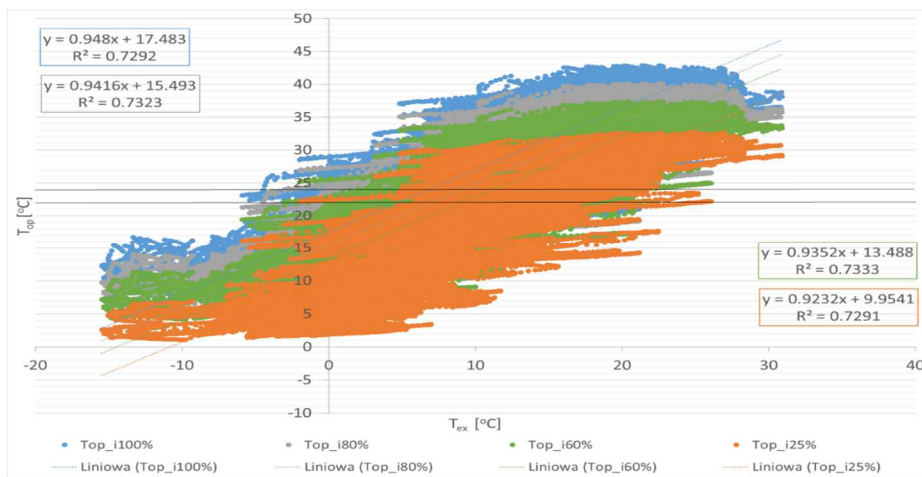
$$T_{e,C} = T_{e,śr} + \Delta T \quad (5.16)$$

Pauza w działaniu wynosi $2\Delta T$.

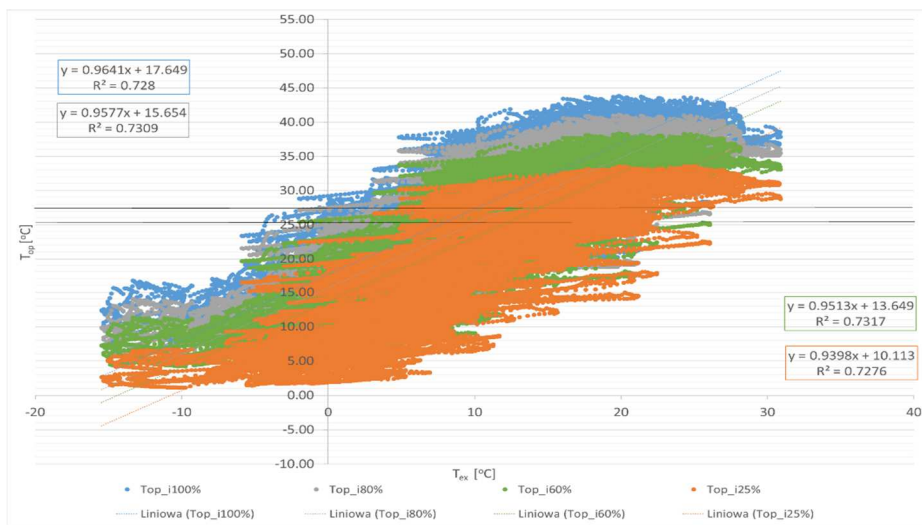
Wyznaczenie temperatury przełączenia trybu działania TABS na podstawie równania aproksymującego zbiór temperatur

Kroki postępowania:

1. Symulacja obciążeń termicznych pomieszczenia w ciągu całego roku przy założeniu wyłączonego systemu HVAC – braku aktywnego odprowadzania obciążeń termicznych (zysków lub strat ciepła jawnego).
2. Wyznaczenie - na podstawie symulacji obciążeń termicznych - zależności temperatury odczuwalnej (T_{op}) w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego (T_e) – wynikowo w formie chmury punktów (Rys. 28, Rys. 29) w układzie współrzędnych $T_{op} = f(T_e)$.
3. Na podstawie otrzymanej chmury punktów wyznacza się równanie aproksymujące zbiór i dla oczekiwanego przedziału temperatury odczuwalnej (przedział tolerancji: $22 \div 24^\circ\text{C}$), wyznacza się wartości temperatury powietrza zewnętrznego, przy których wartość temperatury operatywnej osiąga minimalną i maksymalną wartość założonej temperatury komfortu.



Rys. 28 Aproksymacja zbioru punktów dla pomieszczenia o orientacji NE z różnymi poziomami obciążenia



Rys. 29 Aproksymacja zbioru punktów dla pomieszczenia o orientacji SW z różnymi poziomami obciążenia

4. Wartości temperatury powietrza zewnętrznego, przy których równanie aproksymujące osiąga wartości temperatury operatywnej równej krańcom przedziału tolerancji, stanowią temperatury przełączenia dla trybu grzania i chłodzenia.

5.4.3. Zbiór zmiennych decyzyjnych, krzywe grzania i chłodzenia

Wyznaczone równania krzywych grzania i chłodzenia

W tabeli Tab. 5.18 przedstawiono wyznaczone równania krzywych grzania i chłodzenia dla pomieszczeń o orientacji północno-wschodniej (NE) oraz południowo-zachodniej (SW). Równania te określają zależność temperatury wody zasilającej strop (T_{SW}) od temperatury zewnętrznej (T_{ex}) w różnych warunkach obciążenia.

Tab. 5.18 Wyznaczone równania krzywych grzania i chłodzenia dla pomieszczeń o orientacji NE i SW

Funkcja	Obciążenie	Orientacja	Równanie
Grzanie	-	NE	$T_{SW,H} = -0,0852T_{ex} + 22,789$
	-	SW	$T_{SW,H} = -0,0852T_{ex} + 22,922$
Chłodzenie	100%	NE	$T_{SW,C} = -0,0733T_{ex} + 19,915$
		SW	$T_{SW,C} = -0,0733T_{ex} + 19,349$
	80%	NE	$T_{SW,C} = -0,0733T_{ex} + 20,709$

		SW	$T_{SW_C} = -0,0733T_{ex} + 20,016$
60%		NE	$T_{SW_C} = -0,0733T_{ex} + 21,513$
		SW	$T_{SW_C} = -0,0733T_{ex} + 21,187$
25%		NE	$T_{SW_C} = -0,0733T_{ex} + 22,897$
		SW	$T_{SW_C} = -0,0733T_{ex} + 22,708$

Temperatury przełączenia trybu pracy

Temperatury przełączenia trybu pracy TABS wyznaczone według metody opisanej w 0, zestawiono w Tab. 5.19 i Tab. 5.20.

Temperatury przełączenia trybu pracy wyznaczone według metody opisanej w 0, zestawiono w Tab. 5.21 i Tab. 5.22.

Tab. 5.19 Temperatury przełączenia między krzywą grzania, chłodzenia i brakiem działania TABS dla różnych wariantów obciążenia dla pomieszczenia o orientacji NE

I [-]	$\Delta T_{H/C}$ [K]	100%		80%		60%		25%	
		T_h [°C]	T_c [°C]	T_h [°C]	T_c [°C]	T_h [°C]	T_c [°C]	T_h [°C]	T_c [°C]
1	0	6,7	6,7	8,7	8,7	9,3	9,3	12,1	12,1
2	1	5,7	7,7	7,7	9,7	8,3	10,3	11,1	13,1
3	2	4,7	8,7	6,7	10,7	7,3	11,3	10,1	14,1
4	3	3,7	9,7	5,7	11,7	6,3	12,3	9,1	15,1
5	4	2,7	10,7	4,7	12,7	5,3	13,3	8,1	16,1
6	5	1,7	11,7	3,7	13,7	4,3	14,3	7,1	17,1
7	6	0,7	12,7	2,7	14,7	3,3	15,3	6,1	18,1
8	9	-2,3	15,7	-0,3	17,7	0,3	18,3	3,1	21,1
9	12	-5,3	18,7	-3,3	20,7	-2,7	21,3	0,1	24,1
10	∞ /AIR	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 5.20 Temperatury przełączenia między krzywą grzania, chłodzenia i brakiem działania TABS dla różnych wariantów obciążenia dla pomieszczenia o orientacji SW

I [-]	$\Delta T_{H/C}$ [K]	100%		80%		60%		25%	
		T_h [°C]	T_c [°C]	T_h [°C]	T_c [°C]	T_h [°C]	T_c [°C]	T_h [°C]	T_c [°C]
11	0	6,7	6,7	8,6	8,6	8,7	8,7	12,1	12,1
12	1	5,7	7,7	7,6	9,6	7,7	9,7	11,1	13,1
13	2	4,7	8,7	6,6	10,6	6,7	10,7	10,1	14,1
14	3	3,7	9,7	5,6	11,6	5,7	11,7	9,1	15,1
15	4	2,7	10,7	4,6	12,6	4,7	12,7	8,1	16,1
16	5	1,7	11,7	3,6	13,6	3,7	13,7	7,1	17,1
17	6	0,7	12,7	2,6	14,6	2,7	14,7	6,1	18,1
18	9	-2,3	15,7	-0,4	17,6	-0,3	17,7	3,1	21,1
19	12	-5,3	18,7	-3,4	20,6	-3,3	20,7	0,1	24,1
20	∞ /AIR	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 5.21 Temperatura przełączenia między krzywą grzania, chłodzenia dla równania aproksymującego dla różnych wariantów obciążenia dla pomieszczenia o orientacji NE

I [-]	Obciążenie	Granica grzania	Początek chłodzenia	Różnica temperatur
		[°C]	[°C]	[K]
21	100%	4,76	6,87	2,11
22	80%	6,91	9,03	2,12
23	60%	9,10	11,24	2,14
24	25%	13,05	15,21	2,17

Tab. 5.22 Temperatury przełączenia między krzywą grzania, chłodzenia dla równania aproksymującego dla różnych wariantów obciążenia dla pomieszczenia o orientacji SW

I [-]	Obciążenie	Granica grzania	Początek chłodzenia	Różnica temperatur
		[°C]	[°C]	[K]
25	100%	4,51	6,59	2,07
26	80%	6,63	8,71	2,09
27	60%	8,78	10,88	2,10
28	25%	12,65	14,78	2,13

5.5. Warunki ograniczające, parametry komfortu cieplnego

Zbiorcze podsumowanie parametrów wejściowych wprowadzanych do modelu symulacyjnego przedstawiono w Tab. 5.23.

Tab. 5.23 Dane wejściowe do modelu i przyjęte ograniczenia

DANE OGÓLNE	
Funkcja użytkowa	sala dydaktyczna ćwiczeniowo-wykładowa
System HVAC	strop aktywowany termicznie: załączany w funkcji średniej temperatury powietrza zewnętrznego z nadchodzących 24H, praca 24h/d wentylacja: DCV / VAV
Parametry klimatu zewnętrznego	plik programu TRNSYS17 - METEONORM, symulacja całoroczna (8760h) lokalizacja: Poznań
OBCIĄŻENIA SYSTEMU HVAC	
Obciążenia od ludzi	Maksymalna liczba osób - 45 , jednostkowe zyski ciepła jawnego 75 W/os , całkowite zyski ciepła od ludzi 150 W/os
Wymagania komfortu cieplnego i jakości powietrza	prędkość powietrza 0,1 m/s
	izolacyjność cieplna odzieży 1 clo
	aktywność fizyczna 1 met
	wentylacja higieniczna: 30 m³/h/os
Oświetlenie	5 W/m
Infiltracja	0,01 1/h
PRZYJĘTE OGRANICZENIA	
Wymagania komfortu cieplnego i jakości powietrza	temperatura powietrza w pomieszczeniu w przedziale 22°C do 24°C,
	maksymalna zmiana temperatury operatywnej 1,1K/0,25h lub 2,2K /1h
Temperatura punktu rosy	Top=24°C, RH=60%, Tr=16°C
	Top=22°C, RH=60%, Tr=14°C

5.6. Wyniki symulacji, sterowanie energoptymalne

Wyniki obliczeń na podstawie modelu symulacyjnego dotyczą komfortu cieplnego oraz zapotrzebowania na energię pierwotną dla odprowadzenia obciążeń termicznych dla analizowanych wariantów systemu HVAC: (TABS+DCV) i (TABS+VAV), dziewięciu wariantów przełączenia między trybami grzania, chłodzenia i brakiem pracy TABS (Tab. 5.24) i przełączeniem trybu pracy uzależnionym od równania uśredniającego (Tab. 5.25).

Dla porównania wykonano również obliczenia dla wariantu, w którym działa tylko system powietrzny, bez wsparcia TABS ($\Delta T_{H/C} = \infty$).

Analizy przeprowadzono dla całego roku, krok czasowy w symulacji to 0,25h (15 minut). Założono, że w ciągu roku zajęcia odbywają się od poniedziałku do piątku.

W symulacji, z uwagi na możliwość innego wykorzystania pomieszczeń budynku w czasie wakacyjnym (np. na potrzeby szkoły letniej), uwzględniono również, że pomieszczenie jest obciążone w okresie letnim, w którym zwyczajowo trwają wakacje. Pomieszczenie jest obciążone przez 2740,5h co stanowi 31% z 8760 godzin składających się na cały rok.

Przeanalizowano różne warianty systemów HVAC, uwzględniając następujące zmienne:

- **Rodzaj wentylacji:** DCV (wentylacja działająca na potrzeby higieniczne) oraz VAV (wentylacja wspomagająca odprowadzanie obciążeń termicznych).
- **Orientacja:** Północno-wschodnia (NE) oraz południowo-zachodnia (SW).
- **Czas pracy wentylacji:** Wariant A (bez przerwy, od 8:00 do 20:15) oraz wariant B (tylko podczas obecności ludzi).
- **Warunki otoczenia:** Temperatura w pomieszczeniach otaczających utrzymywana w przedziale komfortowym (1), brak utrzymywania temperatury w przedziale komfortowym (0).
- **Rozkład:** Harmonogram C2.
- **$\Delta T_{H/C}$:** Różnica temperatur przełączających wynosiła 0K, 1K, 2K, 3K, 4K, 5K, 6K, 9K, 12K, ∞ /AIR oraz T_{av} .

Dla systemu HVAC z (TABS+DCV) przeprowadzono symulacje działania systemu z wentylacją działającą na potrzeby higieniczne (podczas obecności ludzi), dla stałego poziomu obciążenia pomieszczenia wynoszącego 80%.

Dla systemu HVAC z (TABS+VAV) przyjęto, że wentylacja wspomagająca odprowadzanie obciążeń termicznych może pracować nieprzerwanie w godzinach 8:00 do 20:15 (wariant A), lub wyłącznie podczas obecności ludzi wewnątrz pomieszczenia (wariant B), zgodnych z harmonogramem obciążeń.

Wyniki symulacji zawierają szczegółowe analizy komfortu cieplnego oraz zapotrzebowania na energię pierwotną dla każdego z wymienionych wariantów.

Przyjęte kodowanie nazw wariantów składa się z kilku elementów, które precyzyjnie określają konfigurację i warunki pracy systemu. Każdy wariant jest oznaczony za pomocą ciągu znaków, w którym zawarte są informacje o następujących parametrach:

- **Rodzaj wentylacji:**
 - **DCV** (Demand Controlled Ventilation): Wentylacja aktywowana jedynie w celu zapewnienia wymaganego poziomu higieny powietrza, uruchamiana podczas obecności ludzi.
 - **VAV** (Variable Air Volume): Wentylacja wspomagająca odprowadzanie obciążeń termicznych, działająca w zależności od zapotrzebowania na klimatyzację.

- **Orientacja budynku:**
 - **NE** (North-East): Północno-wschodnia orientacja budynku.
 - **SW** (South-West): Południowo-zachodnia orientacja budynku.
- **Czas pracy wentylacji:**
 - **A:** Wentylacja pracuje nieprzerwanie od 8:00 do 20:15.
 - **B:** Wentylacja działa jedynie podczas obecności ludzi, zgodnie z harmonogramem obciążeń.
- **Warunki otoczenia:**
 - **1:** Standardowe warunki otoczenia, z utrzymaniem temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24°C w godzinach 8:00-20:15.
 - **0:** Brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach.
- **Harmonogram:**
 - **C2:** Obciążenie 80%, stałe w godzinach 8:00-20:15.
 - **C3:** Rozkład prawostronny, szczyt w godzinach 8:00-11:15.
 - **C4:** Rozkład normalny, szczyt w godzinach 11:45-15:00.
 - **C5:** Rozkład lewostronny, szczyt w godzinach 15:15-18:30.
 - **C6:** Rozkład bimodalny, dwa szczyty w godzinach 9:45-11:15 i 15:15-16:45.
- **Tryb przełączenia TABS (Thermally Activated Building Systems) $\Delta T_{H/C}$:**
 - Cyfra lub litera na końcu oznaczenia wskazuje wartość różnicy temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$, która określa granice przełączenia pomiędzy trybem grzania i chłodzenia i jest wyrażona w stopniach Kelwina:
 - **0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12:** Konkretnie wartości różnicy temperatur $\Delta T_{H/C}$.
 - ∞ /AIR: Brak działania systemu stropów aktywowanych termicznie.
 - **T_av:** Przełączenie trybu pracy według równania uśredniającego.

Przykład oznaczenia wariantu: **VAV_NE_A_1_C2_0**

- **VAV:** Aktywna wentylacja wspomagająca odprowadzanie obciążeń termicznych.
- **NE:** Północno-wschodnia orientacja budynku.
- **A:** Wentylacja pracuje nieprzerwanie od 8:00 do 20:15.
- **1:** Standardowe warunki otoczenia.
- **C2:** Harmonogram C2.
- **0:** Różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0K.

Tabele zbiorcze z zestawieniem wariantów wraz z opisem znajdują się w załączniku: *Z2 Tabelaryczne zestawienie wariantów symulacji*.

5.6.1. System HVAC z TABS i wentylacją higieniczną (DCV)

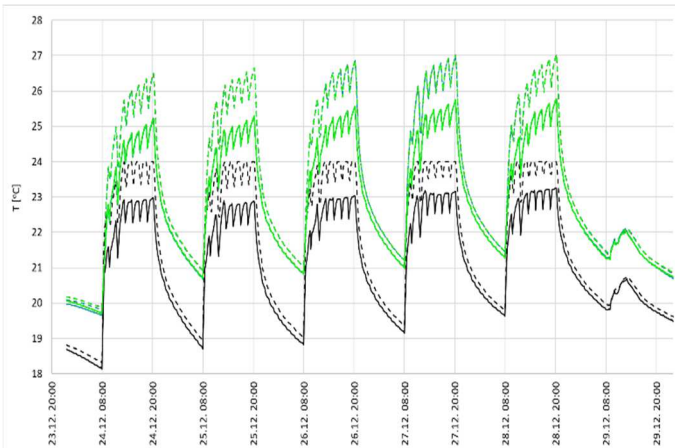
Przeprowadzono symulację działania systemu HVAC z wykorzystaniem TABS oraz wentylacją higieniczną, przy obciążeniu pomieszczenia wynoszącym 80% (harmonogram C2), dla dwóch orientacji: północno-wschodniej (NE) oraz południowo-zachodniej (SW) oraz dla pomieszczeń sąsiadujących w których utrzymywana jest temperatura z przedziału 22-24°C. Tabelaryczne zestawienie symulacji znajduje się w *Tab. 0.22* w załączniku *Z2*.

Temperatura powietrza wentylacyjnego, nawiewanego jest równa temperaturze powietrza wewnątrz pomieszczenia. Wentylacja nie bierze udziału w odprowadzaniu zanieczyszczeń.

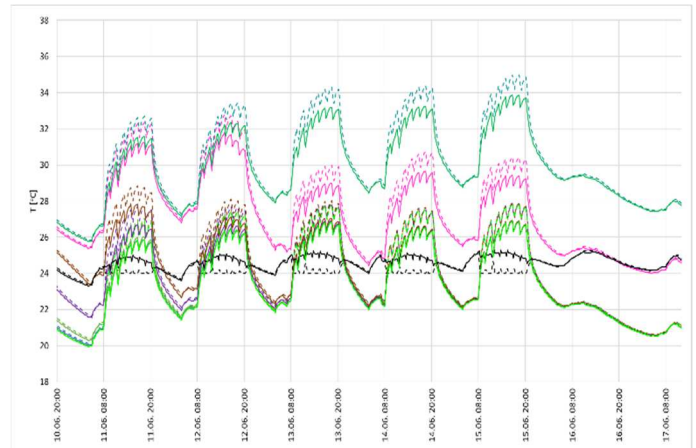
Ocena komfortu cieplnego

- o Przebieg temperatury w okresie grzania i chłodzenia pomieszczenia

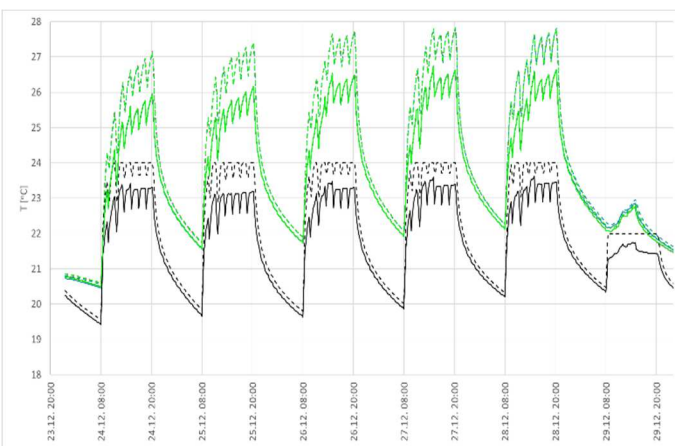
Rys. 30 do Rys. 33 przedstawiają przebieg temperatury powietrza w wybranym, przykładowym tygodniu w okresie zimowym i letnim. Wybrano tygodnie, w których występowały dni z największym i najmniejszym przyrostem temperatury. Te dni posłużyły do wyznaczenia ekwiwalentnych wewnętrznych zysków ciepła (największe przyrosty: 15.06- dla orientacji NE; 13.06- dla orientacji SW, najmniejsze przyrosty: 24.12, obie orientacje).



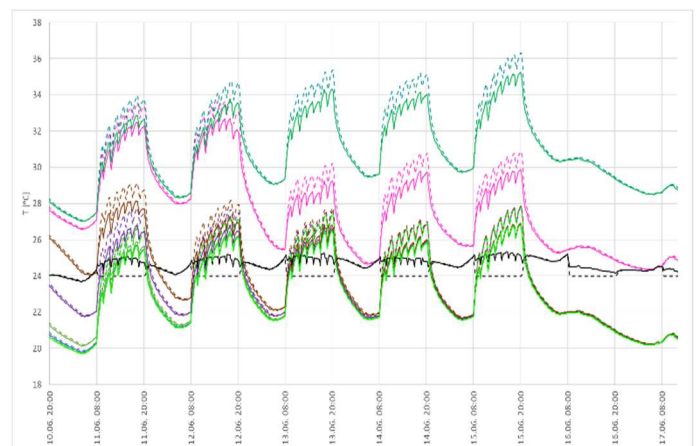
Rys. 30 Przebieg temperatury powietrza w przykładowym tygodniu zimą dla (TABS+DCV) dla orientacji NE [51]



Rys. 31 Przebieg temperatury powietrza w przykładowym tygodniu latem dla (TABS+DCV) dla orientacji NE [51]



Rys. 32 Przebieg temperatury powietrza w przykładowym tygodniu zimą dla (TABS+DCV) dla orientacji SW



Rys. 33 Przebieg temperatury powietrza w przykładowym tygodniu latem dla (TABS+DCV) dla orientacji SW

Legenda:

---T_a_80_0	---T_a_80_1	---T_a_80_2	---T_a_80_3	---T_a_80_4
---T_a_80_5	---T_a_80_6	---T_a_80_9	---T_a_80_12	---T_a_80_AV
---T_a_80_AIR	---T_op_80_0	---T_op_80_1	---T_op_80_2	---T_op_80_3
---T_op_80_4	---T_op_80_5	---T_op_80_6	---T_op_80_9	---T_op_80_12
---T_op_80_AIR	---T_op_80_AV			

We wszystkich wariantach przełączania trybów, temperatura odczuwalna nie mieści się w dopuszczalnym komfortowo przedziale 20÷24°C. Dominują okresy przegrzania pomieszczenia – zarówno w okresie zimowym jak i letnim. System (TABS+DCV), nie utrzymuje stabilnej i komfortowej temperatury w pomieszczeniach w żadnej z analizowanych orientacji (NE i SW). Widoczne są znaczące oscylacje temperatury oraz częste okresy przegrzania.

- o Temperatura powietrza i temperatura operatywna

W celu oceny komfortu cieplnego przeanalizowano szczegółowo czas trwania poszczególnych przedziałów temperatury powietrza i temperatury operatywnej. W Tab. 5.24 i Tab. 5.25 przedstawiono zestawienie liczby godzin oraz procentowy udział czasu występowania przedziału temperatury powietrza oraz temperatury operatywnej w pomieszczeniu o orientacji NE, a w Tab. 5.26 i Tab. 5.27 dla orientacji SW.

Tab. 5.24 Liczba godzin oraz procentowy udział czasu występowania przedziału temperatury powietrza w pomieszczeniu o orientacji NE

Przedział temp.	DCV_NE_B_C2_1_0	DCV_NE_B_C2_1_1	DCV_NE_B_C2_1_2	DCV_NE_B_C2_1_3	DCV_80_B_C2_1_4	DCV_NE_B_C2_1_5	DCV_NE_B_C2_1_6	DCV_NE_B_C2_1_9	DCV_NE_B_C2_1_12	DCV_NE_B_C2_1_av
<22°C	27 (1%)	25,8 (1%)	24 (1%)	23,8 (1%)	21,3 (1%)	18,8 (1%)	17,8 (1%)	17,3 (1%)	20 (1%)	27 (1%)
22-24 °C	184 (7%)	180,3 (7%)	171 (6%)	161 (6%)	150,5 (5%)	136,5 (5%)	121,8 (4%)	89,8 (3%)	88,3 (3%)	183 (7%)
>24 °C	2529,5 (92%)	2534,5 (92%)	2545,5 (93%)	2555,8 (93%)	2568,8 (94%)	2585,3 (94%)	2601 (95%)	2633,5 (96%)	2632,3 (96%)	2530,5 (92%)

Tab. 5.25 Liczba godzin oraz procentowy udział czasu występowania przedziału temperatury operatywnej powietrza w pomieszczeniu o orientacji NE

Przedział temp.	DCV_N_E_B_C2_1_0	DCV_NE_B_C2_1_1	DCV_NE_B_C2_1_2	DCV_NE_B_C2_1_3	DCV_80_B_C2_1_4	DCV_NE_B_C2_1_5	DCV_NE_B_C2_1_6	DCV_NE_B_C2_1_9	DCV_NE_B_C2_1_12	DCV_NE_B_C2_1_av
<22°C	34,3 (1%)	33,5 (1%)	31,5 (1%)	30 (1%)	26,5 (1%)	23,5 (1%)	21,3 (1%)	20,5 (1%)	26,8 (1%)	35,5 (1%)
22-24 °C	377,5 (14%)	364,8 (13%)	344,5 (13%)	327,3 (12%)	302,8 (11%)	274,5 (10%)	246 (9%)	198 (7%)	210 (8%)	377 (14%)
>24 °C	2328,8 (85%)	2342,3 (85%)	2364,5 (86%)	2383,3 (87%)	2411,3 (88%)	2442,5 (89%)	2473,3 (90%)	2522 (92%)	2503,8 (91%)	2328 (85%)

Tab. 5.26 Liczba godzin oraz procentowy udział czasu występowania przedziału temperatury powietrza w pomieszczeniu o orientacji SW

Przedział temp.	DCV_SW_B_C2_1_0	DCV_SW_B_C2_1_1	DCV_SW_B_C2_1_2	DCV_SW_B_C2_1_3	DCV_SW_B_C2_1_4	DCV_80_B_C2_1_5	DCV_SW_B_C2_1_6	DCV_SW_B_C2_1_9	DCV_SW_B_C2_1_12	DCV_SW_B_C2_1_av
<22°C	32,25 (1%)	30,5 (1%)	27,25 (1%)	24,75 (1%)	21,25 (1%)	17,25 (1%)	12,75 (0%)	6 (0%)	6,5 (0%)	22,75 (1%)
22-24 °C	195 (7%)	189 (7%)	179,75 (7%)	166,75 (6%)	150,75 (6%)	130,5 (5%)	114,25 (4%)	74 (3%)	58,75 (2%)	20 (1%)
>24 °C	2513,25 (92%)	2521 (92%)	2533,5 (92%)	2549 (93%)	2568,5 (94%)	2592,75 (95%)	2613,5 (95%)	2660,5 (97,1%)	2675,25 (97,6%)	2697,75 (98%)

Tab. 5.27 Liczba godzin oraz procentowy udział czasu występowania przedziału temperatury operatywnej powietrza w pomieszczeniu o orientacji SW

Przedział temp.	DCV_S_W_B_C_2_1_0	DCV_S_W_B_C_2_1_1	DCV_S_W_B_C_2_1_2	DCV_S_W_B_C_2_1_3	DCV_S_W_B_C_2_1_4	DCV_80_B_C2_1_5	DCV_S_W_B_C_2_1_6	DCV_S_W_B_C_2_1_9	DCV_S_W_B_C_2_1_12	DCV_S_W_B_C_2_1_av
<22°C	36 (1%)	34,5 (1%)	30,75 (1%)	27,25 (1%)	21,75 (1%)	17,75 (1%)	13,5 (0%)	8 (0%)	7,75 (0%)	35,5 (1%)
22-24 °C	361,5 (13%)	346,25 (13%)	322,5 (12%)	298,75 (11%)	267,25 (10%)	229 (8%)	196,5 (7%)	126,5 (5%)	104,25 (4%)	377 (14%)
>24 °C	2343 (85%)	2359,75 (86%)	2387,25 (87%)	2414,5 (88%)	2451,5 (89%)	2493,75 (91%)	2530,5 (92%)	2606 (95%)	2628,5 (96%)	2328 (85%)

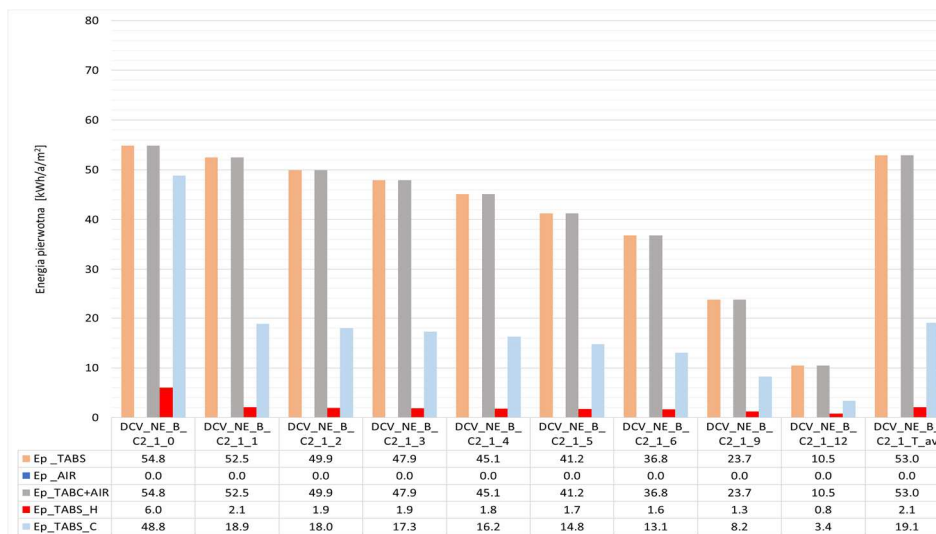
We wszystkich wariantach analizowanych trybów przełączania przez około 90% czasu temperatura powietrza w pomieszczeniu przekracza 24°C. Dla temperatury powietrza i temperatury operatywnej, czas trwania temperatur poniżej 22°C jest znikomy (około 1%). System HVAC z (TABS+DCV) nie jest w stanie skutecznie chłodzić pomieszczeń. Im większy jest przedział temperatury powietrza zewnętrznego, przy której następuje zmiana trybu pracy tym dłużej pomieszczenie jest przegrzane.

Analizowane tryby DCV wykazują pewne różnice w rozkładzie temperatur, jednak ogólne wzorce pozostają podobne. Warianty DCV z większym przedziałem temperatury powietrza zewnętrznego przy przełączaniu

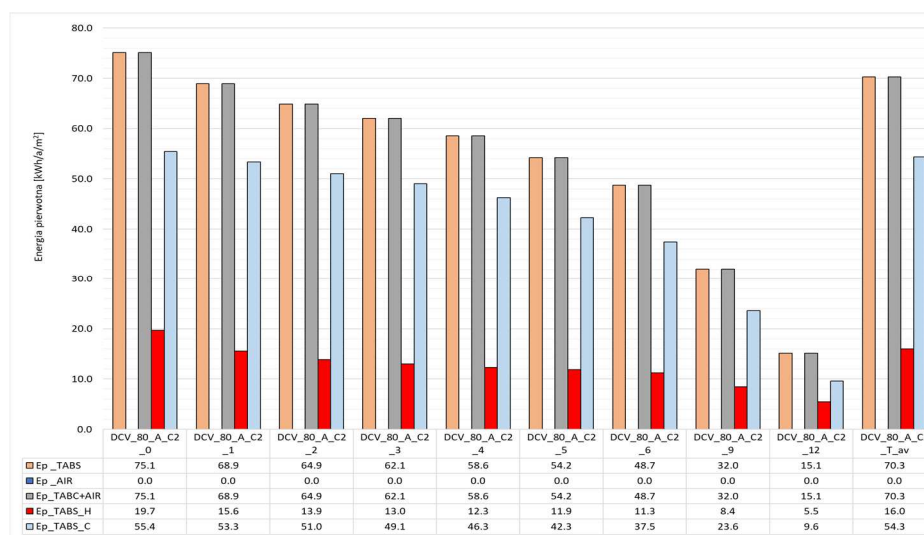
trybów pracy mają tendencję do większego przegrzewania pomieszczeń. We wszystkich wariantach przełączania trybów, temperatura powietrza oraz temperatura operatywna w pomieszczeniach o orientacji NE i SW nie mieści się w komfortowym przedziale 20÷24°C przez znaczną część czasu. Dominują okresy przegrzania pomieszczenia zarówno w okresie zimowym oraz letnim.

Zapotrzebowanie na energię końcową i pierwotną

Zapotrzebowanie na energię pierwotną dla ogrzewania i chłodzenia wyznaczono opierając się na równaniu (4.1). Wraz ze zwiększeniem się odstępu pomiędzy temperaturami, przy których następuje przełączenie trybu pracy stropu (grzanie/pauza/chłodzenie), maleje zapotrzebowanie na energię pierwotną, ponieważ czas pracy stropu jest krótszy. Pomieszczenia o orientacji południowo-zachodniej wymagają większych nakładów energii, zwłaszcza do chłodzenia, może to wynikać z większego narażenia na promieniowanie słoneczne. (Rys. 34, Rys. 35).



Rys. 34 Zapotrzebowanie na energię pierwotną dla systemu (TABS+DCV) w pomieszczeniu o orientacji NE



Rys. 35 Zapotrzebowanie na energię pierwotną dla systemu (TABS+DCV) w pomieszczeniu o orientacji SW

5.6.1.1. Podsumowanie wyników symulacji systemu HVAC z TABS i wentylacją higieniczną (DCV)

Przeprowadzona analiza parametrów komfortu termicznego, obejmująca czas utrzymania temperatury operatywnej powietrza w zadanym przedziale oraz czas występowania gwałtownych wzrostów i spadków temperatury, wykazała, że system TABS z DCV nie spełnia warunków komfortu dla żadnego z rozważanych wariantów.

W wariantach, w których temperatura przełączenia stropu ($\Delta T_{H/C}$) nie przekraczała $\pm 2K$ oraz w wariantach z temperaturami przełączenia wyznaczonymi na podstawie równania uśredniającego, temperatura operatywna powietrza utrzymywała się w założonym przedziale jedynie przez około 14% czasu, a w pozostałych wariantach ten czas był niższy.

Otrzymane wyniki potwierdzają tezę, że system TABS wymaga wspomagania w odprowadzaniu obciążeń termicznych w przypadku ich znacznego natężenia.

5.6.2. System HVAC z TABS i wentylacją higieniczną i na potrzeby odprowadzenia obciążeń termicznych (VAV), dla stałego obciążenia (harmonogram C2)

Wykonano symulacje działania systemu HVAC z TABS z wentylacją działającą na potrzeby higieniczne i odbioru obciążeń termicznych. Dla stałego obciążenia, wynoszącego 80% (harmonogram C2), dokonano sprawdzenia wpływu czasu pracy wentylacji na poziom komfortu w pomieszczeniu dla dwóch wariantów:

A - Wentylacja pracuje nieprzerwanie w godzinach 8:00- 20:15.

B - Wentylacja pracuje wyłącznie podczas obecności ludzi wewnątrz pomieszczenia., według harmonogramu obciążeń.

Symulacje uwzględniały także dwa poziomy obciążenia sąsiadujących pomieszczeń:

- **0:** Brak klimatyzacji w sąsiadujących pomieszczeniach.
- **1:** Utrzymywanie temperatury w sąsiadujących pomieszczeniach w przedziale 22-24°C w godzinach 8:00-20:15.

Dodatkowo, analizowano różne orientacje budynku:

- **NE:** Północno-wschodnia orientacja budynku.
- **SW:** Południowo-zachodnia orientacja budynku.

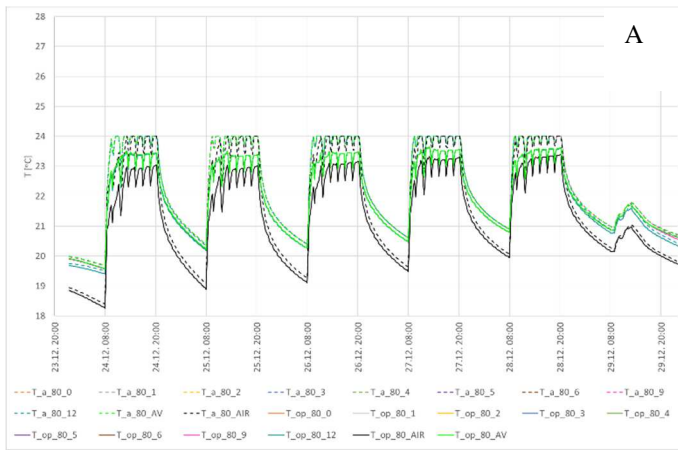
Tab. 0.23, która znajduje się w załączniku Z2, przedstawia zestawienie wykonanych osiemdziesięciu ośmiu symulacji, wraz z przyjętymi oznaczeniami.

Nazewnictwo wariantów systemu HVAC z (TABS +VAV) stosowane w niniejszej analizie składa się z kilku elementów, które precyzyjnie określają konfigurację i warunki pracy systemu. Zostało opisane w punkcie 5.6.

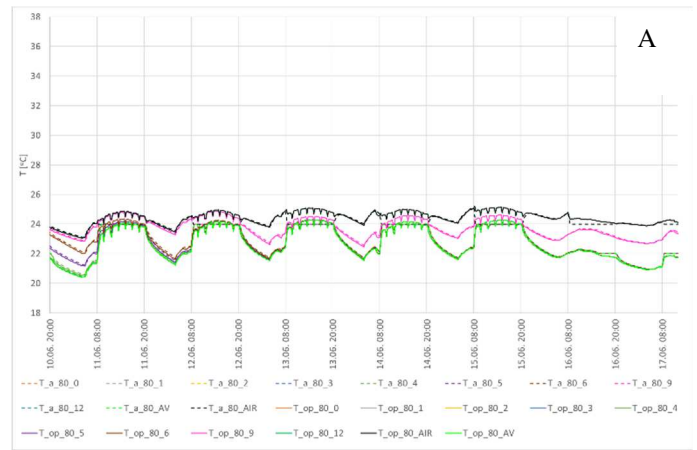
Ocena komfortu cieplnego

- Przebieg temperatury w okresie grzania i chłodzenia pomieszczenia, gdy w sąsiednich pomieszczeniach jest utrzymywana temperatura z zakresu 22°C do 24°C

Przykładowy przebieg temperatury powietrza i operatywnej w tygodniu roku z najwyższymi i najniższymi temperaturami w pomieszczeniu o orientacji północno – wschodniej (NE) przedstawiono na Rys. 36 i Rys. 37 oraz w pomieszczeniu o orientacji południowo-zachodniej (SW) na Rys. 38 i Rys. 39 .



Rys. 36 Przebieg temperatur powietrza w przykładowym tygodniu zimą dla HVAC z (TABS+VAV) w pomieszczeniu o orientacji NE, czas pracy wentylacji: A - 8:00- 20:15, B- tylko podczas obecności ludzi, gdy w pomieszczeniach sąsiadujących jest utrzymywana temperatura 22°C do 24°C

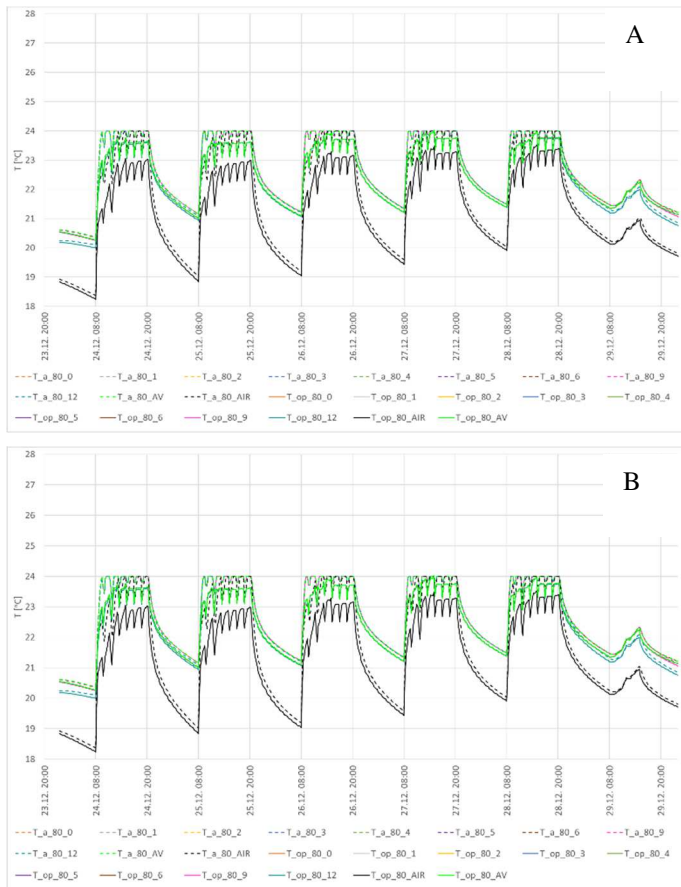


Rys. 37 Przebieg temperatur powietrza w przykładowym tygodniu latem dla HVAC z (TABS+VAV) w pomieszczeniu o orientacji NE, czas pracy wentylacji: A - 8:00- 20:15, B- tylko podczas obecności ludzi, gdy w pomieszczeniach sąsiadujących jest utrzymywana temperatura 22°C do 24°C

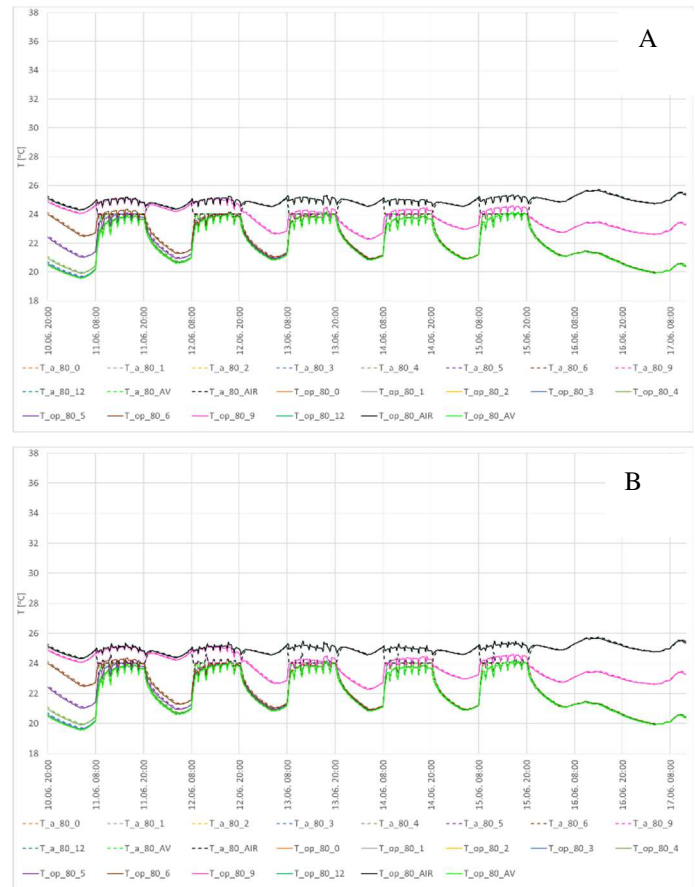
Porównując przebiegi temperatury dla systemu HVAC z (TABS+DCV) przedstawionych na Rys. 30 i Rys. 31 z przebiegiem dla systemu HVAC z (TABS+VAV) przedstawionych na Rys. 36 i Rys. 37 można zauważyć, że w przypadku orientacji NE, gdy system wentylacyjny wspiera TABS w odprowadzaniu obciążeń termicznych, rozstęp temperatur (dobowa różnica pomiędzy najwyższą i najniższą temperaturą) powietrza we wszystkich wariantach sterowania trybem pracy TABS jest mniejszy niż w sytuacji, kiedy tylko stropy aktywowane termicznie odpowiadają za odprowadzenie tych obciążeń.

Podobną zależność widać pomiędzy przebiegiem temperatur dla systemu HVAC z (TABS+DCV) przedstawionym na Rys. 32 i Rys. 33 oraz z przebiegiem dla systemu HVAC z (TABS+VAV) przedstawionych na Rys. 38 i Rys. 39. Przebieg zmian temperatury w przypadku obu orientacji sezonowo jest podobny. Gdy wentylacja pracuje w godzinach od 8:00 do 20:15 (A) w obu orientacjach temperatura utrzymuje się głównie w zakresie 20-24°C, jednak w pomieszczeniu SW temperatura jest nieco wyższa i bardziej zmienna niż w NE.

Gdy wentylacja pracuje tylko podczas obecności ludzi (B) zakres temperatur w obu analizowanych orientacjach jest podobny, ale widoczna jest jej większa zmienność w pomieszczeniu SW.



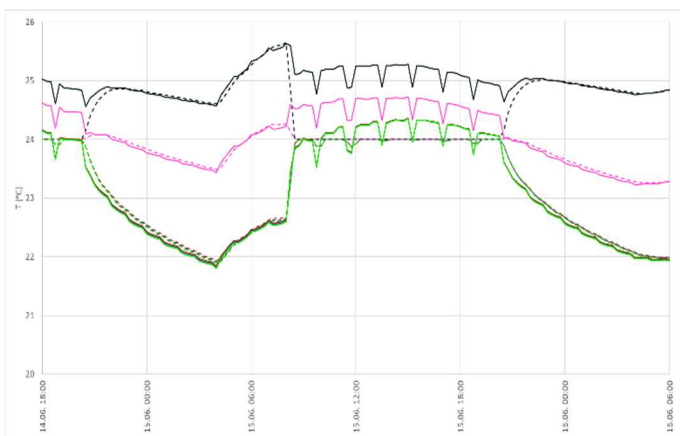
Rys. 38 Przebieg temperatur powietrza w przykładowym tygodniu zimą dla HVAC z (TABS+VAV) w pomieszczeniu o orientacji SW, czas pracy wentylacji: A - 8:00- 20:15, B - tylko podczas obecności ludzi



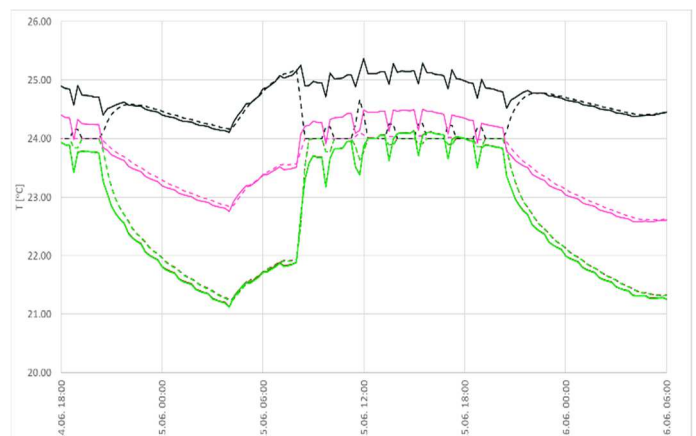
Rys. 39 Przebieg temperatur powietrza w przykładowym tygodniu latem dla HVAC z (TABS+VAV) w pomieszczeniu o orientacji SW, czas pracy wentylacji: A - 8:00- 20:15, B - tylko podczas obecności ludzi

Większe wahania temperatury pojawiające się w pomieszczeniu o orientacji SW mogą być związane z silniejszym oddziaływaniem promieniowania słonecznego.

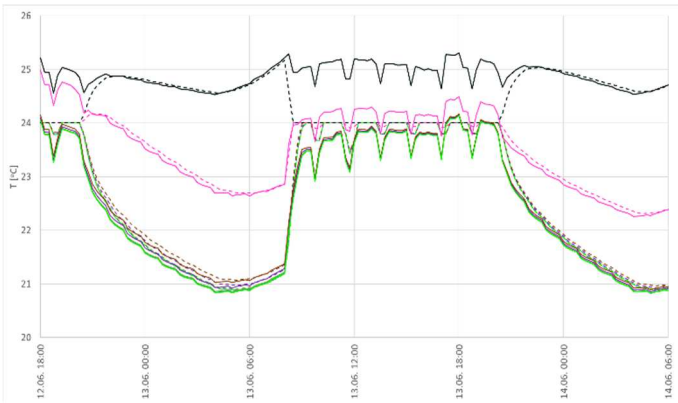
Przebieg temperatury w okresie zimowym w obu wariantach sterowania wentylacją oraz dla obu orientacji pomieszczenia, jest podobny. W przypadku okresu chłodzenia widać, że gdy wentylacja działa wyłącznie w czasie obecności ludzi, następuje zwiększenie fluktuacji temperatury (Rys. 40-Rys. 43).



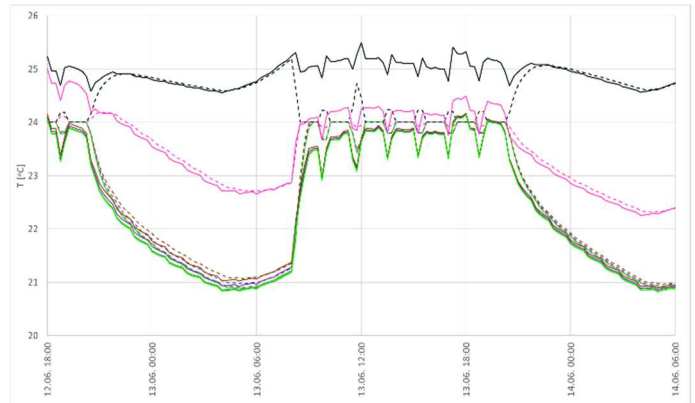
Rys. 40 Przebieg temperatur powietrza w najcieplejszym dniu (15. czerwca) dla (TABS+VAV) dla wentylacji działającej w godzinach 8:00-20:15 w pomieszczeniu o orientacji NE



Rys. 41 Przebieg temperatur powietrza w najcieplejszym dniu (15. czerwca) dla (TABS+VAV) dla wentylacji działającej wyłącznie podczas obecności ludzi w pomieszczeniu o orientacji NE



Rys. 42 Przebieg temperatury powietrza w najcieplejszym dniu (13. czerwca) dla (TABS+VAV) dla wentylacji działającej w godzinach 8:00 -20:15 w pomieszczeniu o orientacji SW



Rys. 43 Przebieg temperatury powietrza w najcieplejszym dniu (13. czerwca) dla (TABS+VAV) dla wentylacji działającej wyłącznie podczas obecności ludzi w pomieszczeniu o orientacji SW

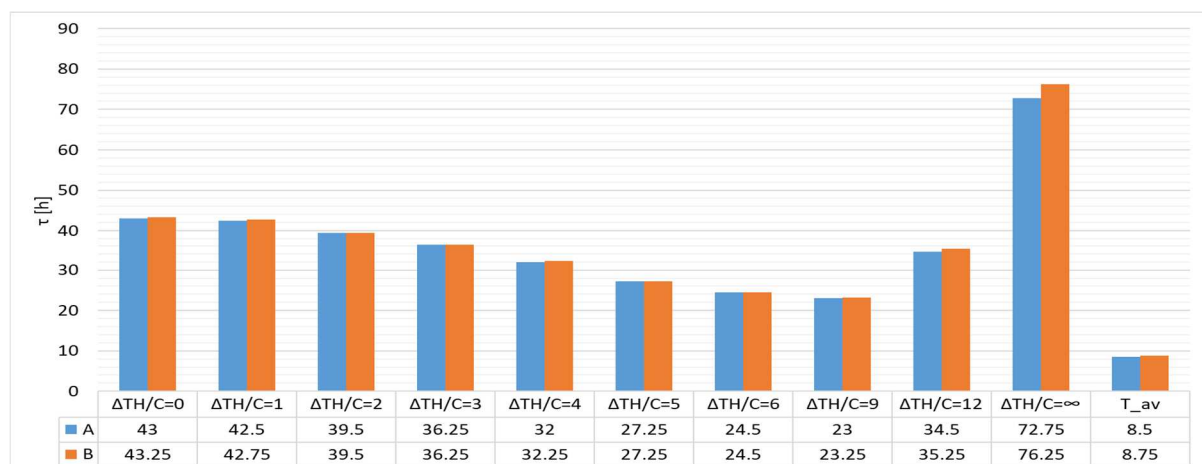
Legenda:



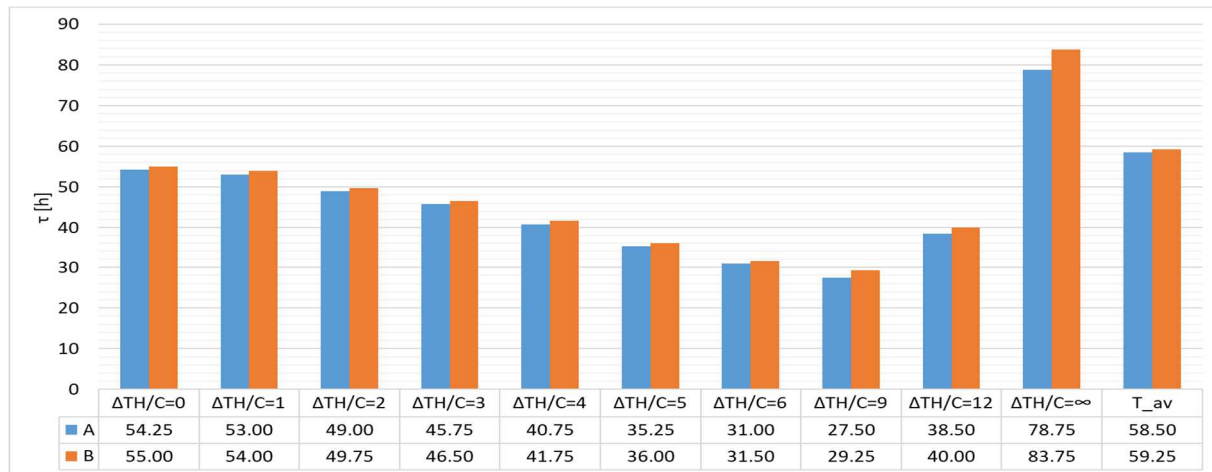
Istnieje zależność pomiędzy różnicą temperatury przełączającej $\Delta T_{H/C}$, a temperaturą wewnątrz pomieszczenia. Im mniejsza jest wartość $\Delta T_{H/C}$ tym niższe są temperatury w pomieszczeniu. Jest to szczególnie widoczne w zakresie $\Delta T_{H/C}$ od 0K do 4K, gdzie przebieg temperatury w pomieszczeniu, dla wszystkich przypadków jest zbliżony (Rys. 36-Rys. 43). Różnice w przebiegu temperatury, stają się wyraźniejsze, gdy wartość $\Delta T_{H/C}$ przekracza 5K. Zwiększenie $\Delta T_{H/C}$ prowadzi do wzrostu amplitudy wahań temperatury w pomieszczeniu. W przypadku, gdy wentylacja jest uruchamiana wyłącznie w trakcie obecności ludzi, amplituda wahań temperatury w ciągu dnia ulega poszerzeniu.

- o Temperatura powietrza i temperatura operatywna

Wykresy przedstawione na Rys. 44-Rys. 49 przedstawiają czas trwania przedziałów temperatury operatywnej w pomieszczeniu o orientacji północno-wschodniej, gdy i południowo- zachodniej w pomieszczeniach wokół jest utrzymywana temperatura z przedziału 22-24°C.



Rys. 44 Czas trwania temperatury operatywnej poniżej 22°C dla wariantów A i B w orientacji NE (całkowity czas użytkowania pomieszczenia: 2740,5 h w roku, temperatury w sąsiednich pomieszczeniach 22-24°C)

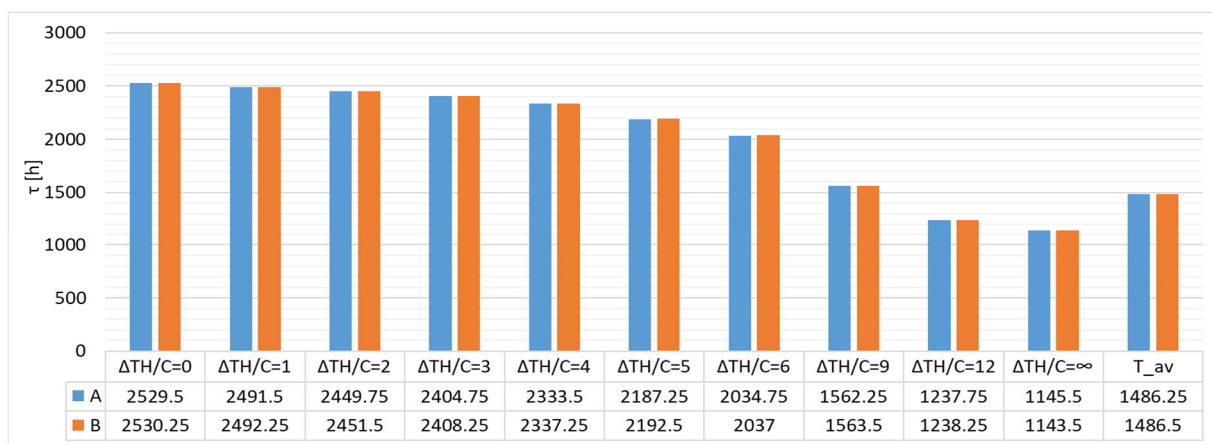


Rys. 45 Czas trwania temperatury operatywnej poniżej 22°C dla wariantów A i B w orientacji SW (całkowity czas użytkowania pomieszczenia: 2740,5 h w roku, temperatury w sąsiednich pomieszczeniach 22-24°C)

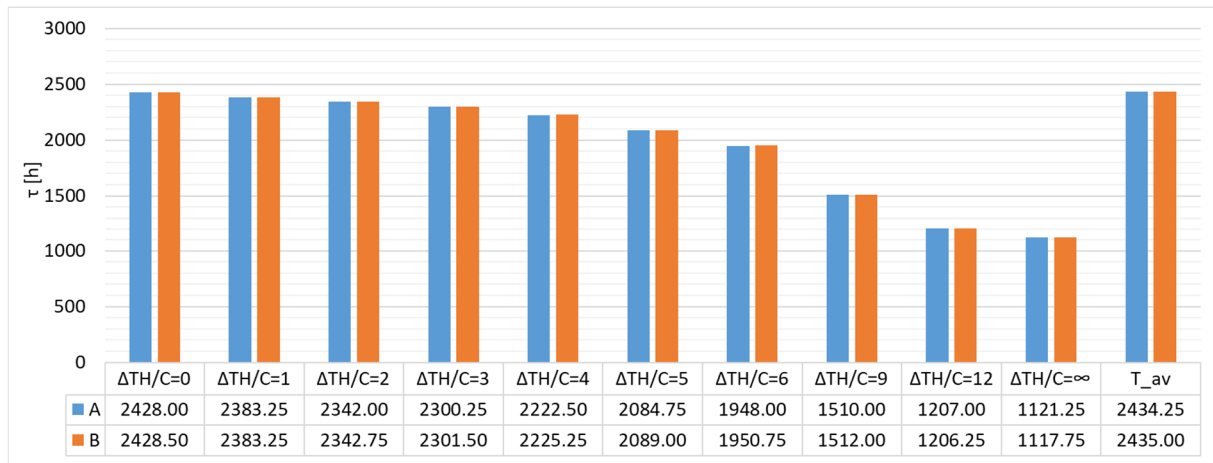
Czas występowania temperatury poniżej 22°C (Rys. 44, Rys. 45) w obu wariantach pracy wentylacji jest niski, nieznacznie dłuższy w przypadku orientacji SW.

Wraz ze wzrostem wartości $\Delta T_{H/C}$ aż do różnicy temperatury przełączenia trybu pracy wynoszącej 9K wykazuje tendencję spadkową. Różnice pomiędzy wariantami A i B są minimalne. Dla $\Delta T_{H/C} = \infty$, czas jego trwania jest znacząco dłuższy niezależnie od trybu pracy wentylacji, ale nie przekracza 3%.

Czas trwania temperatury operatywnej w przedziale 22-24°C (Rys. 46, Rys. 47) zmniejsza się wraz ze wzrostem wartości $\Delta T_{H/C}$. Przy $\Delta T_{H/C} = \infty$ osiąga najniższą wartość (około 40% czasu gdy pomieszczenie jest obciążone). Oba warianty pracy wentylacji (A i B) utrzymują temperaturę operatywną w komfortowym zakresie przez większość czasu użytkowania pomieszczenia (NE: od 45% dla $\Delta T_{H/C}=12K$ do 92% dla $\Delta T_{H/C}=0K$; SW: od 44% dla $\Delta T_{H/C}=12K$ do 89% dla $\Delta T_{H/C}=0K$). Czas, kiedy temperatura operatywna mieści w przedziale komfortowym jest krótszy w przypadku orientacji SW. Różnice utrzymywania się temperatury operatywnej w pożądanym przedziale w większości wariantów są minimalne i oba warianty utrzymują temperaturę operatywną w komfortowym zakresie przez większość czasu użytkowania pomieszczenia w zakresie wartości $\Delta T_{H/C}$ od 0 do 4 (na przykład dla orientacji SW spada od 88,6% czasu dla $\Delta T_{H/C} = 0K$ do 81,0% dla $\Delta T_{H/C}=4K$). Dla orientacji SW najdłużej komfort trwa, gdy temperatura przełączenia trybu pracy TABS jest wyznaczana w oparciu o równanie uśredniające (około 88,8% czasu).

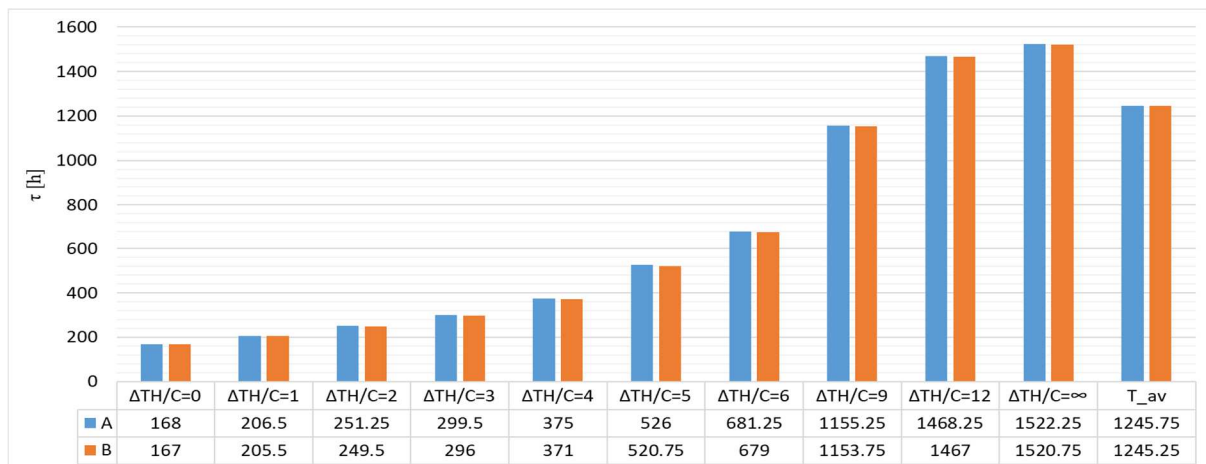


Rys. 46 Czas trwania temperatury operatywnej w przedziale 22-24°C dla wariantów A i B w orientacji NE (całkowity czas użytkowania pomieszczenia: 2740,5 h w roku, temperatury w sąsiednich pomieszczeniach 22-24°C)

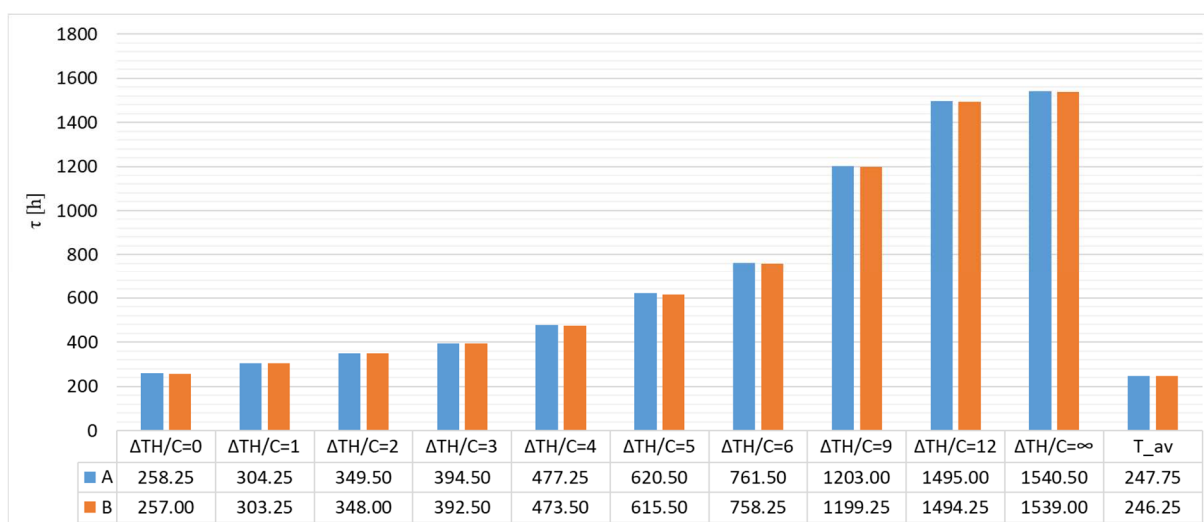


Rys. 47 Czas trwania temperatury operatywnej w przedziale 22-24°C dla wariantów A i B w orientacji SW (całkowity czas użytkowania pomieszczenia: 2740,5 h w roku, temperatury w sąsiednich pomieszczeniach 22-24°C)

Czas trwania temperatury operatywnej powyżej 24°C (Rys. 48, Rys. 49) w obu wariantach pracy systemu wentylacyjnego jest bardzo zbliżony. Wzrost wartości $\Delta T_{H/C}$ prowadzi do gwałtownego wzrostu czasu przekroczenia 24°C, dla $\Delta T_{H/C} = \infty$ jego udział wynosi 55% dla NE i 56% dla SW, najniższy jest dla $\Delta T_{H/C}=0K$ i wynosi jedynie 6% dla NE i 9% dla SW. W przypadku orientacji SW wariantcie T_{av} , przekroczenie 24°C utrzymuje się najkrócej (około 9% czasu) a w przypadku orientacji NE jest to aż 45% czasu, gdy w pomieszczeniu przebywają ludzie.



Rys. 48 Czas trwania temperatury operatywnej powyżej 24°C dla wariantów A i B w orientacji NE (całkowity czas użytkowania pomieszczenia: 2740,5 h w roku, temperatury w sąsiednich pomieszczeniach 22-24°C)



Rys. 49 Czas trwania temperatury operatywnej powyżej 24°C dla wariantów A i B w orientacji SW (całkowity czas użytkowania pomieszczenia: 2740,5 h w roku, temperatury w sąsiednich pomieszczeniach 22-24°C)

Tryb pracy wentylacji nie różni się znacząco czasem występowania poszczególnych przedziałów temperatury (poniżej 22°C, 22°C do 24°C i powyżej 24°C) i mieszczą się w granicach błędu statystycznego.

Gdy strop aktywowany termicznie (system TABS) nie działa, system wentylacyjny musi przejąć całość obciążeń termicznych. Warianty $\Delta T_{H/C} = 9K$ i $12K$ oraz z oznaczeniem AIR pokazują, że wraz ze wzrostem wartości $\Delta T_{H/C}$ rośnie częstość występowania zmian temperatury przekraczających $\pm 1,1K$ w ciągu 15 minut. W wariantcie „AIR” w pomieszczeniu SW częściej występują duże zmiany temperatury operatywnej (powyżej 1,1 K), w porównaniu do NE. (Tab. 5.28, Tab. 5.29)

Tab. 5.28 Liczba godzin trwania różnych przedziałów zmiany temperatury operatywnej dla wariantów A i B w orientacji NE, przy temperaturze otoczenia 22-24°C (100% = 2740,5 h)

Przypadek	$T_{op} < -1,1K$	$-1,1K \leq T_{op} \leq 1,1K$	$T_{op} > 1,1K$
VAV_NE_A_1_C2_0	1,75	2738,75	0
VAV_NE_B_1_C2_0	1,75	2738,75	0
VAV_NE_A_1_C2_1	2,25	2738,25	0
VAV_NE_B_1_C2_1	2,25	2738,25	0
VAV_NE_A_1_C2_2	2	2738,5	0
VAV_NE_B_1_C2_2	2	2738,5	0
VAV_NE_A_1_C2_3	1,75	2738,75	0
VAV_NE_B_1_C2_3	1,75	2738,75	0
VAV_NE_A_1_C2_4	1,25	2739,25	0
VAV_NE_B_1_C2_4	1,25	2739,25	0
VAV_NE_A_1_C2_5	0,75	2739,75	0
VAV_NE_B_1_C2_5	0,75	2739,75	0
VAV_NE_A_1_C2_6	0,5	2740	0
VAV_NE_B_1_C2_6	0,5	2740	0
VAV_NE_A_1_C2_9	0,75	2734	5,75
VAV_NE_B_1_C2_9	0,75	2734	5,75
VAV_NE_A_1_C2_12	3	2647,25	90,25
VAV_NE_B_1_C2_12	3	2610	127,5
VAV_NE_A_1_C2_AIR	10	2341,75	388,75
VAV_NE_B_1_C2_AIR	11	2272,75	456,75

Przypadek	$T_{op} < -1,1K$	$-1,1K \leq T_{op} \leq 1,1$	$T_{op} > 1,1K$
VAV_NE_A_1_C2_T_av	0	2740,5	0
VAV_NE_B_1_C2_T_av	0	2740,5	0

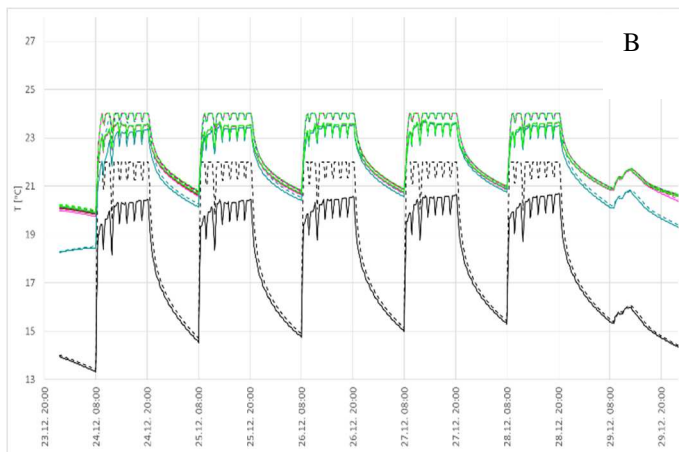
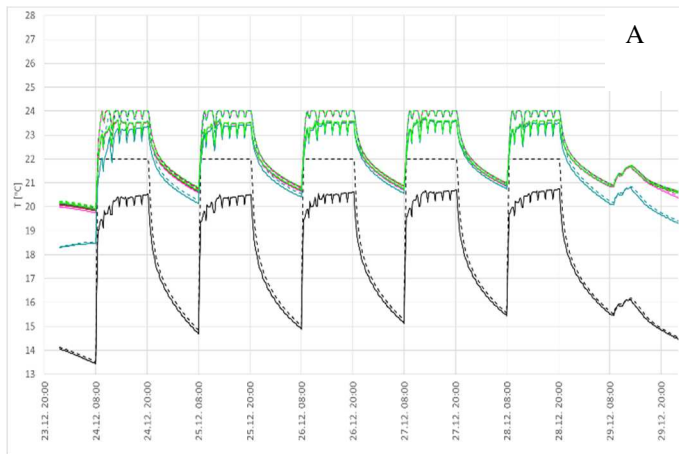
Tab. 5.29 Liczba godzin trwania różnych przedziałów zmiany temperatury operatywnej dla wariantów A i B w orientacji SW, przy temperaturze otoczenia 22-24°C (100% = 2740,5 h)

Przypadek	$T_{op} < -1,1K$	$-1,1K \leq T_{op} \leq 1,1$	$T_{op} > 1,1K$
VAV_SW_A_1_C2_0	2,5	2738	0
VAV_SW_B_1_C2_0	2,5	2738	0
VAV_SW_A_1_C2_1	2,75	2737,75	0
VAV_SW_B_1_C2_1	2,75	2737,75	0
VAV_SW_A_1_C2_2	2,25	2738,25	0
VAV_SW_B_1_C2_2	2,25	2738,25	0
VAV_SW_A_1_C2_3	1,75	2738,75	0
VAV_SW_B_1_C2_3	1,75	2738,75	0
VAV_SW_A_1_C2_4	1	2739,5	0
VAV_SW_B_1_C2_4	1	2739,5	0
VAV_SW_A_1_C2_5	0,5	2740	0
VAV_SW_B_1_C2_5	0,5	2740	0
VAV_SW_A_1_C2_6	0,25	2740,25	0
VAV_SW_B_1_C2_6	0,25	2740,25	0
VAV_SW_A_1_C2_9	1	2737,5	8
VAV_SW_B_1_C2_9	1	2737,5	0
VAV_SW_A_1_C2_12	3	2633,25	417
VAV_SW_B_1_C2_12	3,25	2591,5	145,75
VAV_SW_A_1_C2_AIR	10,5	2298,5	1726
VAV_SW_B_1_C2_AIR	12	2237,75	490,75
VAV_SW_A_1_C2_T_av	3	2737,5	0
VAV_SW_B_1_C2_T_av	3	2737,5	0

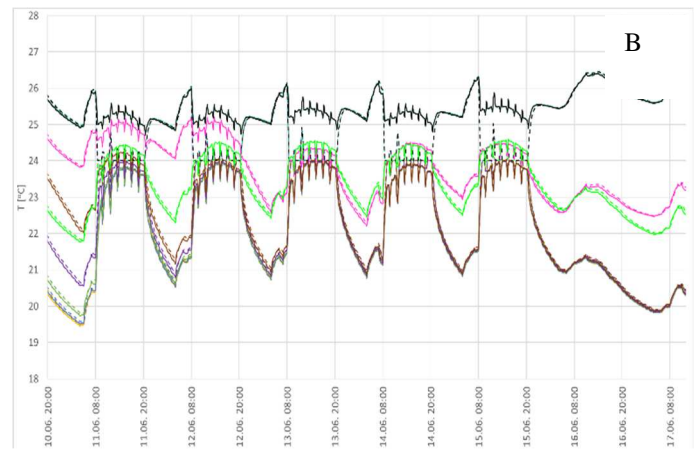
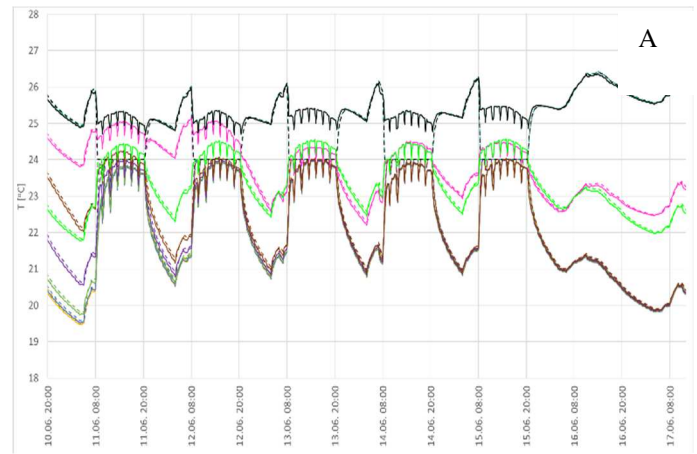
Zwiększenie udziału systemu wentylacyjnego w odprowadzaniu obciążeń termicznych prowadzi do większych wahań temperatury operatywnej gdy $\Delta T_{H/C} = 12K$, czas kiedy temperatura szybko rosła utrzymywał się przez 15% czasu w wariantcie pracy wentylacji A i 5% w wariantcie B dla orientacji SW. W przypadku orientacji NE nie przekracza 5%, niezależnie od trybu pracy wentylacji. Jest to bardziej widoczne w pomieszczeniach o orientacji SW. Warianty z oznaczeniem AIR, gdzie strop aktywowany termicznie nie działa, pokazują większe zmiany temperatury, podczas gdy warianty „av” z uśrednioną temperaturą przełączania trybu pracy stropu wykazują lepszą stabilność termiczną.

- o Przebieg temperatury w okresie grzania i chłodzenia pomieszczenia, gdy w sąsiednich pomieszczeniach temperatura nie jest utrzymywana – pomieszczenia nie są klimatyzowane.

Przykładowy przebieg temperatury powietrza i operatywnej w tygodniu roku z najwyższymi i najniższymi temperaturami, gdy pomieszczenia sąsiadujące z analizowanym nie są klimatyzowane, przedstawiono dla orientacji NE na Rys. 50 i Rys. 51 a dla orientacji południowo-zachodniej (SW) na Rys. 52 i Rys. 53.



Rys. 50 Przebieg temperatur powietrza w przykładowym tygodniu zimą dla HVAC z(TABS+VAV) w pomieszczeniu o orientacji NE, czas pracy wentylacji: A - 8:00- 20:15, B- tylko podczas obecności ludzi, gdy pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane

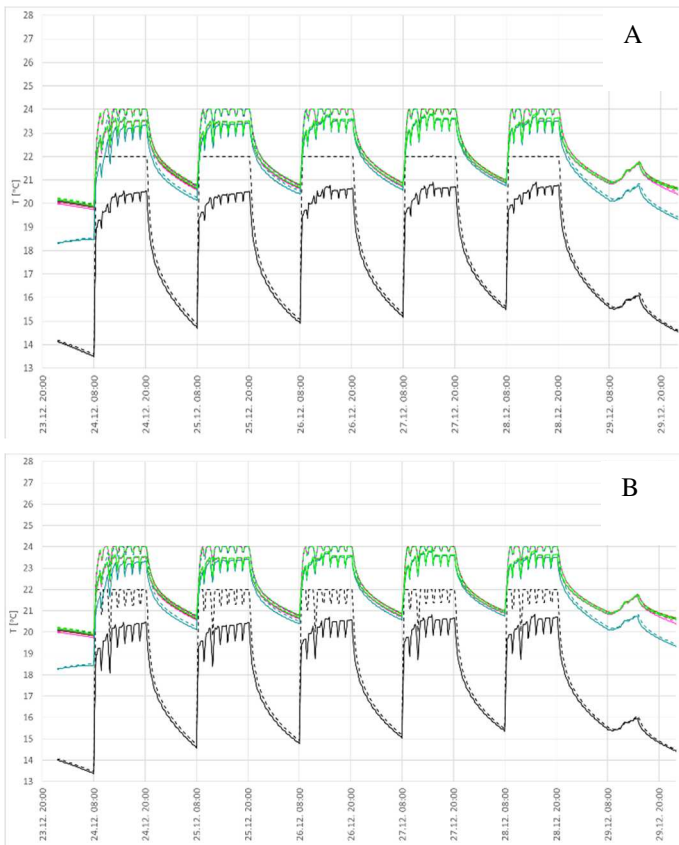


Rys. 51 Przebieg temperatur powietrza w przykładowym tygodniu latem dla HVAC z(TABS+VAV) w pomieszczeniu o orientacji NE, czas pracy wentylacji: A - 8:00- 20:15, B- tylko podczas obecności ludzi, gdy pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane

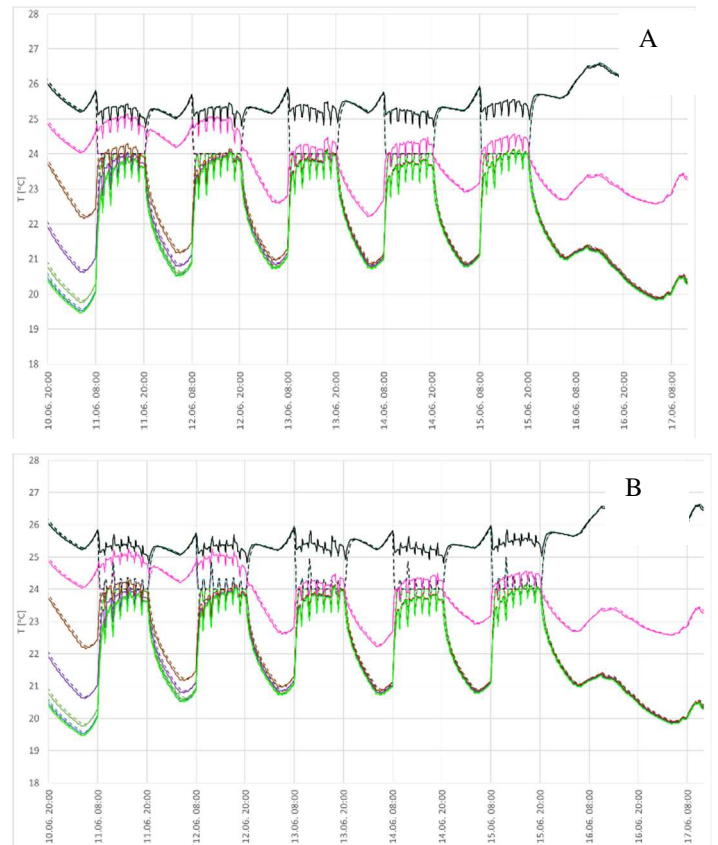
Legenda:

---T_a_80_0	---T_a_80_1	---T_a_80_2	---T_a_80_3	---T_a_80_4
---T_a_80_5	---T_a_80_6	---T_a_80_9	---T_a_80_12	---T_a_80_AV
---T_a_80_AIR	---T_op_80_0	---T_op_80_1	---T_op_80_2	---T_op_80_3
---T_op_80_4	---T_op_80_5	---T_op_80_6	---T_op_80_9	---T_op_80_12
---T_op_80_AIR	---T_op_80_AV			

Analiza wykresów Rys. 50 - Rys. 53 wskazuje, że pomieszczenia o orientacji NE wykazują większą stabilność temperatury operatywnej w warunkach, gdy sąsiednie pomieszczenia nie są klimatyzowane, niezależnie od wartości $\Delta T_{H/C}$, niż pomieszczenie o orientacji SW. Wahania temperatury operatywnej w pomieszczeniu o orientacji SW są większe, zwłaszcza przy wyższych wartościach $\Delta T_{H/C}$, szczególnie w przypadku braku klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach.



Rys. 52 Przebieg temperatur powietrza w przykładowym tygodniu zimą dla HVAC z (TABS+VAV) w pomieszczeniu o orientacji SW, czas pracy wentylacji: A - 8:00- 20:15, B- tylko podczas obecności ludzi, gdy pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane



Rys. 53 Przebieg temperatur powietrza w przykładowym tygodniu latem dla HVAC z (TABS+VAV) w pomieszczeniu o orientacji SW, czas pracy wentylacji: A - 8:00- 20:15, B- tylko podczas obecności ludzi, gdy pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane

Legenda:

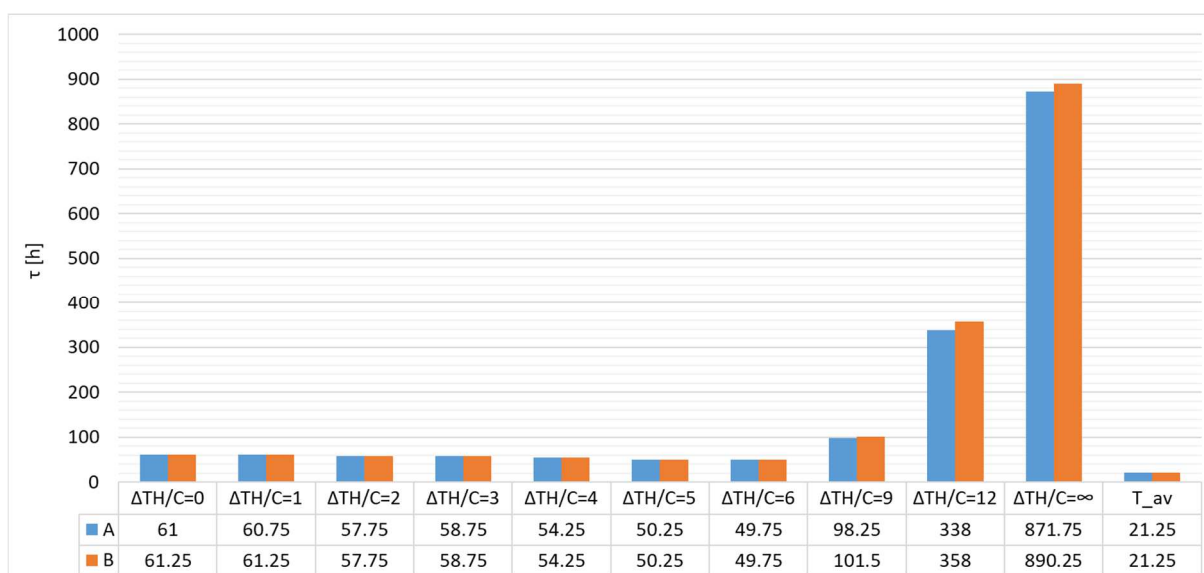
---T_a_80_0	---T_a_80_1	---T_a_80_2	---T_a_80_3	---T_a_80_4
---T_a_80_5	---T_a_80_6	---T_a_80_9	---T_a_80_12	---T_a_80_AV
---T_a_80_AIR	---T_op_80_0	---T_op_80_1	---T_op_80_2	---T_op_80_3
---T_op_80_4	---T_op_80_5	---T_op_80_6	---T_op_80_9	---T_op_80_12
---T_op_80_AIR	---	---	---	---

- o Temperatura powietrza i temperatura operatywna

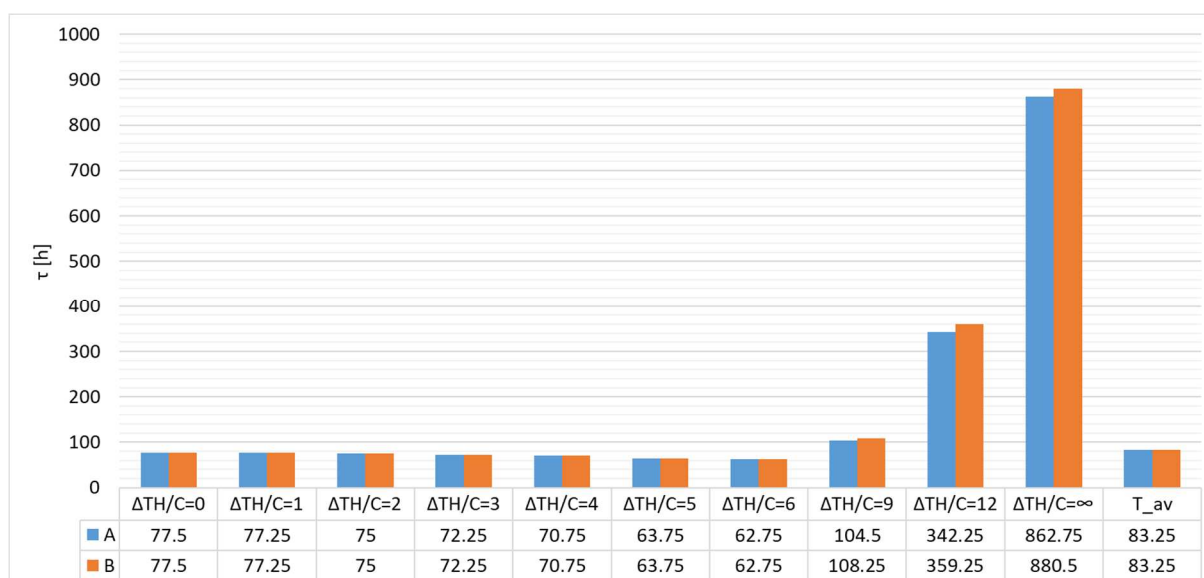
Wykresy przedstawione na Rys. 54-Rys. 59 przedstawiają czas trwania przedziałów temperatury operatywnej w pomieszczeniu o orientacji północno-wschodniej i południowo- zachodniej, gdy w pomieszczeniach wokół nie jest utrzymywana temperatura z przedziału 22-24°C.

W analizowanym pomieszczeniu, gdy temperatura w sąsiednich pomieszczeniach nie jest utrzymywana w określonym przedziale, niezależnie od orientacji ścian zewnętrznych, temperatura powietrza w przedziale 22-24°C utrzymuje się przez 97-99% czasu w wariancie A oraz 89-98% w wariancie B.

Obie orientacje charakteryzują się podobnym, niewielkim udziałem godzin z temperaturą poniżej 22°C (1-4,8% czasu). Czas występowania temperatury poniżej 22°C stosunkowo niski, z niewielką przewagą wariantu B. Przy zwiększaniu wartości $\Delta T_{H/C}$ wykazuje lekką tendencję spadkową, aż do $\Delta T_{H/C}=6K$, powyżej tej wartości gwałtownie wzrasta. Niezależnie od orientacji ścian zewnętrznych i trybu pracy wentylacji dla $\Delta T_{H/C}=\infty$ wynosi on ponad 30% czasu i jest wyższy w wariancie B.



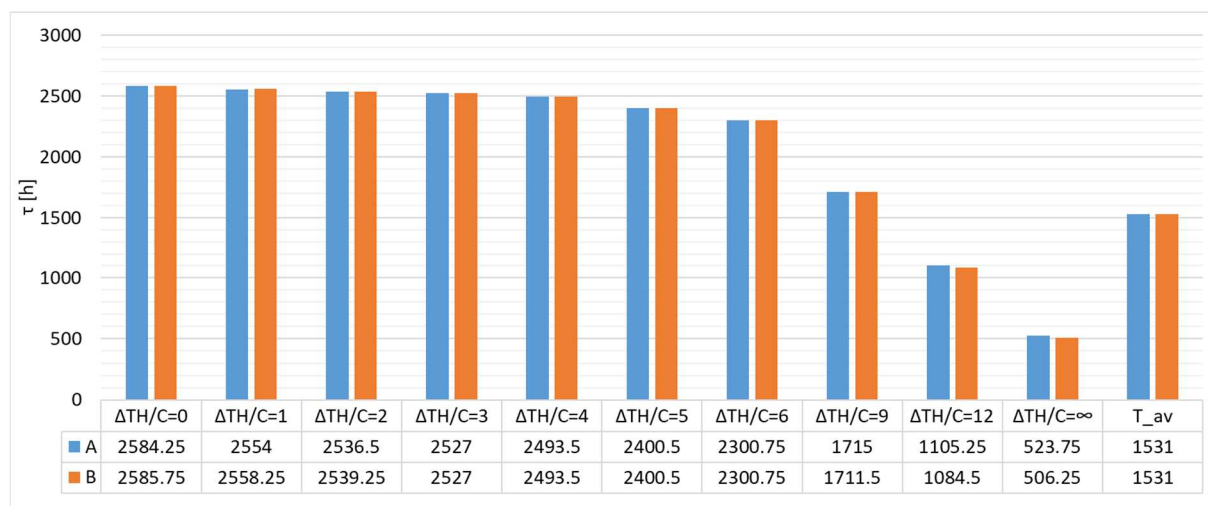
Rys. 54 Czas trwania temperatury operatywnej poniżej 22°C dla wariantów A i B w orientacji NE (całkowity czas użytkowania pomieszczenia: 2740,5 h w roku, pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane)



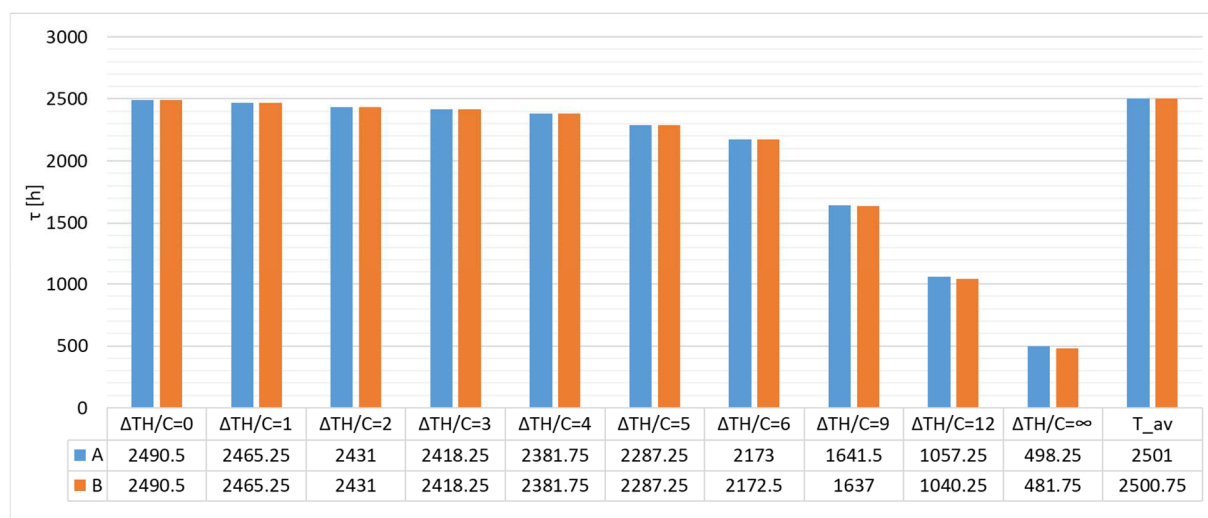
Rys. 55 Czas trwania temperatury operatywnej poniżej 22°C dla wariantów A i B w orientacji SW (całkowity czas użytkowania pomieszczenia: 2740,5 h w roku, pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane)

W wariacie działającym według równania uśredniającego (T_{av}), czas trwania temperatury poniżej 22°C utrzymuje się przez około 21h dla obu wariantów pracy wentylacji w przypadku orientacji NE, co stanowi mniej niż 1% czasu. W przypadku SW gdy temperatura przełączenia jest wyznaczana w oparciu o równanie uśredniające jest dłuższy i wynosi około 3% czasu gdy w pomieszczeniu są ludzie.

Przy mniejszych wartości $\Delta T_{H/C}$, system HVAC z (TABS+VAV) działa bardziej efektywnie, utrzymując temperaturę powietrza w przedziale komfortowym (Rys. 56, Rys. 57).



Rys. 56 Czas trwania temperatury operatywnej w przedziale 22-24°C dla wariantów A i B w orientacji NE (całkowity czas użytkowania pomieszczenia: 2740,5 h w roku, pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane)

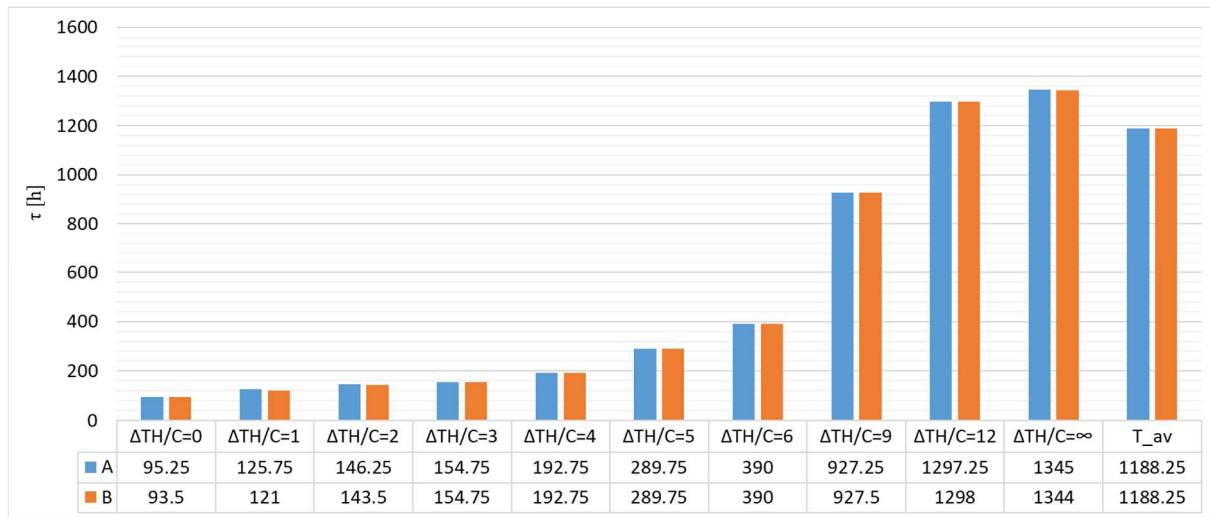


Rys. 57 Czas trwania temperatury operatywnej w przedziale 22-24°C dla wariantów A i B w orientacji SW (całkowity czas użytkowania pomieszczenia: 2740,5 h w roku, pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane)

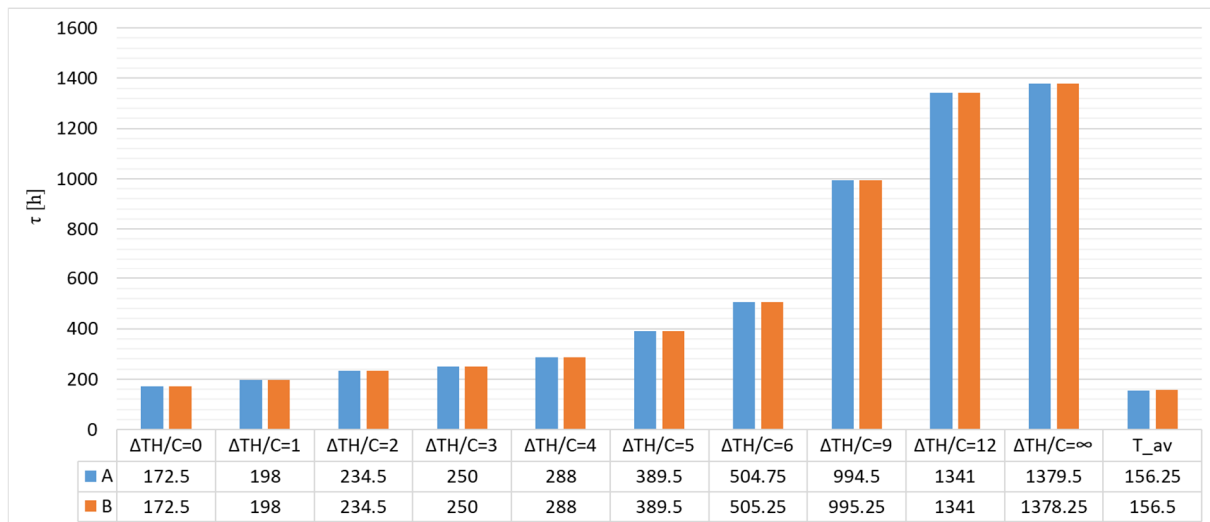
Gdy $\Delta T_{H/C}$ wynosi od 0K do 3K, system HVAC z (TABS+VAV) skutecznie utrzymuje temperaturę w przedziale komfortu przez większość czasu - od około 92% do 95% dla orientacji NE i 91% do 88% dla orientacji SW.

Czas trwania temperatury operatywnej w przedziale 22-24°C spada dla wartości $\Delta T_{H/C}$ od 4K wzwyż. W przypadku $\Delta T_{H/C} = \infty$, temperatura komfortowa utrzymuje się najkrócej (orientacja NE około 18-19% czasu, orientacja SW około 17-18%).

Wariant działający według równania uśredniającego (T_{av}) wykazuje, że system HVAC z (TABS+VAV) jest w stanie utrzymać temperaturę operatywną w przedziale 22-24°C przez około 55% czasu, w przypadku orientacji NE i przez 91% czasu przy orientacji SW, niezależnie od trybu pracy wentylacji, gdy temperatura w pomieszczeniach sąsiadujących nie jest utrzymywana. Równanie uśredniające jest mniej skuteczne w utrzymaniu komfortowych warunków temperaturowych w pomieszczeniach o orientacji NE (Rys. 56).



Rys. 58 Czas trwania temperatury operatywnej powyżej 24°C dla wariantów A i B w orientacji NE (całkowity czas użytkowania pomieszczenia: 2740,5 h w roku, pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane)



Rys. 59 Czas trwania temperatury operatywnej powyżej 24°C dla wariantów A i B w orientacji SW (całkowity czas użytkowania pomieszczenia: 2740,5 h w roku, pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane)

Wraz ze wzrostem wartości $\Delta T_{H/C}$, dłuższy jest czas przegrzania pomieszczenia w czasie, gdy ludzie są w nim obecni. Przy niskich wartościach $\Delta T_{H/C}$ (od 0K do 3K), przegrzanie pomieszczenia utrzymuje się przez około 3% do 5% w orientacji NE i 6% do 9% w orientacji SW dla wariantów pracy wentylacji (A i B). Dla $\Delta T_{H/C}$ od 4K i wyższych, czas przegrzania pomieszczenia znacząco się zwiększa i przy $\Delta T_{H/C} = 9K$ i $\Delta T_{H/C}=12K$ przegrzanie utrzymuje się kolejno 33% i 47% w orientacji NE i 36% oraz 48% czasu w orientacji SW w obu wariantach pracy wentylacji. W przypadku $\Delta T_{H/C} = \infty$, czas trwania temperatury operatywnej powyżej 24°C jest najdłuższy- wynosi około 50% dla obu orientacji ścian zewnętrznych i wariantów działania instalacji powietrznej A i B.

Wariant działający według równania uśredniającego (T_{av}) wykazuje, że system HVAC z (TABS+VAV) utrzymuje w orientacji NE temperaturę powyżej 24°C przez około 43%, a w przypadku orientacji SW czas przegrzania stanowi zaledwie około 5% czasu, gdy w pomieszczeniu przebywają ludzie.

Czas trwania temperatury komfortowej nie jest zależny od trybu pracy wentylacji (A, B).

Tab. 5.30 Liczba godzin trwania różnych przedziałów zmiany temperatury operatywnej dla wariantów A i B w orientacji NE, gdy temperatura otoczenia nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym (100% = 2740,5 h)

Przypadek	$T_{op} < -1,1K$	$-1,1K \leq T_{op} \leq 1,1$	$T_{op} > 1,1K$
VAV_NE_A_0_C2_0	3,25	2737,25	0
VAV_NE_B_0_C2_0	3,25	2737,25	0
VAV_NE_A_0_C2_1	3	2737,5	0
VAV_NE_B_0_C2_1	3,25	2737,25	0
VAV_NE_A_0_C2_2	2,75	2737,75	0
VAV_NE_B_0_C2_2	3	2737,5	0
VAV_NE_A_0_C2_3	2,75	2737,75	0
VAV_NE_B_0_C2_3	2,75	2737,75	0
VAV_NE_A_0_C2_4	2,5	2738	0
VAV_NE_B_0_C2_4	2,5	2738	0
VAV_NE_A_0_C2_5	2	2738,5	0
VAV_NE_B_0_C2_5	2	2738,5	0
VAV_NE_A_0_C2_6	2	2738,5	0
VAV_NE_B_0_C2_6	2	2738,5	0
VAV_NE_A_0_C2_9	14	2726,5	0
VAV_NE_B_0_C2_9	14,75	2722,5	3,25
VAV_NE_A_0_C2_12	98,25	2482	160,25
VAV_NE_B_0_C2_12	120,25	2422	198,25
VAV_NE_A_C2_AIR	587,75	1422,25	730,5
VAV_NE_B_C2_AIR	645,5	1341,5	753,5
VAV_NE_A_C2_AV	0,5	2740	0
VAV_NE_B_C2_AV	0,5	2740	0

Tab. 5.31 Liczba godzin trwania różnych przedziałów zmiany temperatury operatywnej dla wariantów A i B w orientacji SW, gdy temperatura otoczenia nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym (100% = 2740,5 h)

Przypadek	$T_{op} < -1,1K$	$-1,1K \leq T_{op} \leq 1,1$	$T_{op} > 1,1K$
VAV_SW_A_0_C2_0	4,25	2736,25	0
VAV_SW_B_0_C2_0	4,25	2736,25	0
VAV_SW_A_0_C2_1	3,75	2736,75	0
VAV_SW_B_0_C2_1	3,75	2736,75	0
VAV_SW_A_0_C2_2	3,5	2737	0
VAV_SW_B_0_C2_2	3,5	2737	0
VAV_SW_A_0_C2_3	3,5	2737	0
VAV_SW_B_0_C2_3	3,5	2737	0
VAV_SW_A_0_C2_4	3	2737,5	0
VAV_SW_B_0_C2_4	3	2737,5	0
VAV_SW_A_0_C2_5	2,25	2738,25	0
VAV_SW_B_0_C2_5	2,25	2738,25	0
VAV_SW_A_0_C2_6	2,75	2737,75	0
VAV_SW_B_0_C2_6	2,75	2737,75	0
VAV_SW_A_0_C2_9	15,75	2723	1,75
VAV_SW_B_0_C2_9	16,75	2715,75	8
VAV_SW_A_20_C2_12	101,75	2415,25	223,5
VAV_SW_B_20_C2_12	121,5	2361,5	257,5
VAV_SW_AIR_C2	576,5	1390,25	773,75
VAV_SW_B_AIR_C2	629,75	1320,25	790,5
VAV_SW_AV_C2	4,25	2736,25	0
VAV_SW_B_AV_C2	4,25	2736,25	0

Gdy strop aktywowany termicznie (system TABS) nie działa, system wentylacyjny musi przejąć całość obciążeń termicznych. Warianty z oznaczeniem ∞ /AIR pokazują, że zmiany temperatury operatywnej częściej przekraczają $\pm 1,1\text{K}$ (Tab. 5.30, Tab. 5.31). Wzrost wartości $\Delta T_{H/C}$ powyżej 6K , powoduje zwiększenie liczby godzin, w których zmiany temperatury operatywnej przekraczają ten zakres – w przypadku orientacji NE częściej dochodzi do spadków temperatury w pomieszczeniu, a w o orientacji SW do wzrostów przekraczających dopuszczalną wartość. Gdy $\Delta T_{H/C} = 12\text{K}$, czas kiedy temperatura szybko rosła utrzymywał się przez około 9% czasu dla orientacji SW i nie przekracza 8% przypadku orientacji NE, niezależnie od trybu pracy wentylacji.

Analiza danych przedstawionych na Rys. 44 - Rys. 49 i Rys. 54 - Rys. 59 wykazuje, że wpływ wartości $\Delta T_{H/C}$ na efektywność systemu HVAC z (TABS+VAV) jest większy niż wpływ rodzaju pracy wentylacji (A czy B).

Przy niskich wartościach $\Delta T_{H/C}$, oba warianty pracy wentylacji skutecznie utrzymują temperaturę w przedziale komfortu przez większość czasu. Wzrost $\Delta T_{H/C}$, znacząco skraca czas trwania temperatury w przedziale $22\text{-}24^\circ\text{C}$, jednocześnie częściej pojawiają się zmiany temperatury operatywnej przekraczające $\pm 1,1\text{K}$.

Gdy $\Delta T_{H/C} = \infty$, system TABS nie działa, utrzymanie komfortowej temperatury, wyłącznie za pomocą systemu powietrznego, jest najtrudniejsze.

Potwierdza to korzyść ze współpracy systemu stropów aktywowanych termicznie i systemu powietrznego.

Tab. 5.32 Czas utrzymania komfortowego przedziału temperatury operatywnej dla wybranych wartości $\Delta T_{H/C}$ i różnych wariantów pracy wentylacji w pomieszczeniach o orientacji NE i SW

Wariant	$\Delta T_{H/C}$	Czas utrzymania komfortu (temperatura w pomieszczeniach $22\text{-}24^\circ\text{C}$) [h]	Czas utrzymania komfortu (temperatura w pomieszczeniach otaczających nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym) [h]	Różnica [h]	Procentowa różnica [%]
VAV_NE_A_C2_0	0	2529,50	2584,25	54,75	2,1
VAV_NE_A_C2_12	12	1237,75	1105,25	-132,5	-12,0
VAV_NE_A_C2_T_av	AV	1486,25	1531	44,75	2,9
VAV_SW_A_C2_0	0	2428,00	2490,5	62,5	2,5
VAV_SW_A_C2_12	12	1207,00	1057,25	-149,75	-14,2
VAV_SW_A_C2_T_av	AV	2434,25	2501	66,75	2,7
VAV_NE_B_C2_0	0	2530,25	2585,75	55,5	2,1
VAV_NE_B_C2_12	12	1238,25	1084,5	-153,75	-14,2
VAV_NE_B_C2_T_av	AV	1486,50	1531	44,5	2,9
VAV_SW_B_C2_0	0	2428,50	2490,5	62	2,5
VAV_SW_B_C2_12	12	1206,25	1040,25	-166	-16,0
VAV_SW_B_C2_T_av	AV	2435,00	2500,75	65,75	2,6

Porównanie czasu utrzymania komfortowego przedziału temperatury operatywnej dla skrajnych wartości $\Delta T_{H/C}$ i dla temperatur przełączenia wyznaczonych w oparciu o równanie uśredniające, różnych wariantów pracy wentylacji w pomieszczeniach o orientacji NE i SW przedstawiono w Tab. 5.32.

Czas utrzymania komfortowego przedziału temperatury operatywnej jest niższy dla $\Delta T_{H/C} = 0\text{K}$ i dla temperatury przełączenia trybu pracy stropu aktywowanego termicznie wyznaczonej w oparciu o równanie uśredniające, gdy w pomieszczeniach otaczających temperatura jest utrzymywana w przedziale $22\text{-}24^\circ\text{C}$ o około 2% z.

Wraz ze wzrostem $\Delta T_{H/C}$ różnice te stają się bardziej znaczące. Na przykład dla $\Delta T_{H/C}=12K$ osiągając od 12% do 16% krótszego czasu utrzymania komfortu, gdy w pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane.

Otrzymane wyniki świadczą o tym, że wartość $\Delta T_{H/C}$ ma większy wpływ na czas utrzymywania się komfortowego przedziału temperatury, niż temperatura w otaczających pomieszczeniach i tryb pracy wentylacji (A, B).

Zapotrzebowanie na energię pierwotną

Ośłona bilansowa, służąca do określenia zapotrzebowania na energię pierwotną, jest zdefiniowana zgodnie z zewnętrznymi granicami pomieszczenia. Na podstawie wyników symulacji określono zapotrzebowanie na końcową energię użytkową dla poszczególnych systemów i trybów pracy:

- systemu TABS dla grzania i chłodzenia
- systemu wentylacji (VAV) dla grzania i chłodzenia.

Roczne zapotrzebowanie ciepła i chłodu oraz zapotrzebowanie na energię końcową (ciepło/chłód końcowy) wyznaczono według równań (4.2)-(4.5), a wyniki zestawiono w Tab. 5.33 do Tab. 5.36, co umożliwia porównanie efektywności energetycznej różnych systemów HVAC oraz strategii operacyjnych w różnych warunkach temperaturowych.

Analiza wyników zawartych w Tab. 5.33-Tab. 5.36 wskazuje, że różnice w zapotrzebowaniu na energię końcową pomiędzy wariantami A i B są niewielkie. Dla $\Delta T_{H/C}$ od 0K do 6k, nie przekraczają 1,5% i że wpływ temperatury w przestrzeniach otaczających na zapotrzebowanie na energię końcową jest znaczący.

Zapotrzebowanie na ciepło wzrasta, gdy temperatura w pomieszczeniach otaczających nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym. W takim wypadku wartości Q_{H_TABS} i Ek_{H_TABS} są wyraźnie wyższe i mogą wynosić nawet około 45% do ponad 50% w porównaniu do sytuacji, gdy temperatura w pomieszczeniach sąsiednich jest utrzymywana w przedziale 22-24°C. Podobną zależność widać dla Q_{H_AIR} i Ek_{H_AIR} w tym przypadku zapotrzebowanie jest o 30% (wartość dla $\Delta T_{H/C}=0K$) wyższe w pomieszczeniu, w którego otoczeniu pomieszczenia nie są klimatyzowane i wartość ta wzrasta wraz ze wzrostem różnicy $\Delta T_{H/C}$.

Odwrotną zależność widać dla chłodu. W tym przypadku zapotrzebowanie na chłód dostarczany za pośrednictwem systemu TABS (Q_{C_TABS} i Ek_{C_TABS}) w pomieszczeniu, w otoczeniu którego przestrzeń nie jest klimatyzowana, jest niższe od około 10% dla $\Delta T_{H/C}=0K$ do 3% dla $\Delta T_{H/C}=9K$. Powyżej $\Delta T_{H/C}=9K$ zależność się odwraca i dla $\Delta T_{H/C}=12K$ zapotrzebowanie na chłód dostarczany poprzez system TABS jest wyższe w pomieszczeniach w których temperatura otoczenia nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym o 11%.

Zapotrzebowanie na chłód dostarczany instalacją powietrzną (Q_{C_AIR}) i energia końcowa potrzebna do chłodzenia (Ek_{C_AIR}) są niższe od kilku do ponad 20%, gdy temperatura w pomieszczeniach sąsiadujących nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym.

Wraz ze spadkiem zapotrzebowania na ciepło i chłód przez system stropów aktywowanych termicznie, gdy wzrasta wartości $\Delta T_{H/C}$, podsystem wentylacyjny (∞/AIR) ma wyższe zapotrzebowanie na chłód i energię użyteczną do potrzeb chłodzenia.

Tab. 5.33 Roczne zapotrzebowanie na ciepło i chłód oraz zapotrzebowanie na energię końcową systemu TABS i systemu wentylacyjnego w wariantach A (wentylacja działa w godzinach 8:00-20:15) i B (wentylacja działa tylko podczas obecności ludzi) w orientacji NE dla różnych wartości ΔT_{HC} [K] (temperatura w pomieszczeniach sąsiednich utrzymywana w przedziale 22-24°C); [kWh/a]

Parametr	NE_A; $\Delta T_H/C=0$	NE_B; $\Delta T_H/C=0$	NE_A; $\Delta T_H/C=1$	NE_B; $\Delta T_H/C=1$	NE_A; $\Delta T_H/C=2$	NE_B; $\Delta T_H/C=2$	NE_A; $\Delta T_H/C=3$	NE_B; $\Delta T_H/C=3$	NE_A; $\Delta T_H/C=4$	NE_B; $\Delta T_H/C=4$	NE_A; $\Delta T_H/C=5$	NE_B; $\Delta T_H/C=5$	NE_A; $\Delta T_H/C=6$	NE_B; $\Delta T_H/C=6$	NE_A; $\Delta T_H/C=9$	NE_B; $\Delta T_H/C=9$	NE_A; $\Delta T_H/C=12$	NE_B; $\Delta T_H/C=12$	NE_A; $\Delta T_H/C=\infty$	NE_B; $\Delta T_H/C=\infty$	NE_A; $\Delta T_H/C=T_{av}$	NE_B; $\Delta T_H/C=T_{av}$
	Q_H_TABS	924,3	935,1	806,5	817,0	747,0	757,4	716,5	726,9	695,8	706,0	681,9	691,9	659,0	668,7	521,2	528,7	321,9	326,4	0,0	0,0	743,7
Ek_H_TABS	1137,2	1150,5	992,2	1005,2	919,0	931,9	881,6	894,4	856,1	868,6	838,9	851,3	810,8	822,7	641,3	650,5	396,1	401,6	0,0	0,0	915,0	927,6
Q_C_TABS	3757,1	3749,9	3545,7	3538,8	3343,6	3337,5	3199,1	3193,8	2988,7	2984,2	2706,9	2703,7	2416,2	2414,0	1529,2	1530,0	599,8	601,8	0,0	0,0	1983,4	1981,8
Ek_C_TABS	1073,5	1071,4	1013,1	1011,1	955,3	953,6	914,0	912,5	853,9	852,6	773,4	772,5	690,3	689,7	436,9	437,1	171,4	171,9	0,0	0,0	566,7	566,2
Q_H_AIR	51,8	52,1	51,4	51,7	45,6	45,8	40,2	40,4	31,9	32,1	24,4	24,6	20,1	20,3	22,2	22,8	48,8	50,9	5,9	6,0	123,7	123,3
Ek_H_AIR	63,7	64,1	63,2	63,6	56,1	56,4	49,4	49,8	39,3	39,5	30,0	30,3	24,7	24,9	27,3	28,0	60,1	62,6	7,3	7,4	152,2	151,7
Q_C_AIR	11633,8	11618,8	11847,7	11831,6	12152,2	12134,3	12387,3	12367,0	12797,6	12775,7	13428,2	13404,1	14090,0	14061,5	16076,8	16027,9	18334,4	18254,5	16371,4	16359,6	19339,1	19224,8
Ek_C_AIR	4007,9	4002,7	4081,6	4076,0	4186,5	4180,3	4267,5	4260,5	4408,8	4401,3	4626,1	4617,8	4854,1	4844,2	5538,5	5521,7	6316,3	6288,8	5640,0	5635,9	6662,4	6623,0

Tab. 5.34 Roczne zapotrzebowanie na ciepło i chłód oraz zapotrzebowanie na energię końcową systemu TABS i systemu wentylacyjnego w wariantach A (wentylacja działa w godzinach 8:00-20:15) i B (wentylacja działa tylko podczas obecności ludzi) w orientacji SW dla różnych wartości ΔT_{HC} [K] (temperatura w pomieszczeniach sąsiednich utrzymywana w przedziale 22-24°C); [kWh/a]

Parametr	SW_A; $\Delta T_H/C=0$	SW_B; $\Delta T_H/C=0$	SW_A; $\Delta T_H/C=1$	SW_B; $\Delta T_H/C=1$	SW_A; $\Delta T_H/C=2$	SW_B; $\Delta T_H/C=2$	SW_A; $\Delta T_H/C=3$	SW_B; $\Delta T_H/C=3$	SW_A; $\Delta T_H/C=4$	SW_B; $\Delta T_H/C=4$	SW_A; $\Delta T_H/C=5$	SW_B; $\Delta T_H/C=5$	SW_A; $\Delta T_H/C=6$	SW_B; $\Delta T_H/C=6$	SW_A; $\Delta T_H/C=9$	SW_B; $\Delta T_H/C=9$	SW_A; $\Delta T_H/C=12$	SW_B; $\Delta T_H/C=12$	SW_A; $\Delta T_H/C=\infty$	SW_B; $\Delta T_H/C=\infty$	SW_A; $\Delta T_H/C=T_{av}$	SW_B; $\Delta T_H/C=T_{av}$
	Q_H_TABS	924,6	935,6	807,0	817,7	746,9	757,5	715,4	725,9	694,6	704,8	680,4	690,5	658,2	667,9	521,2	528,7	321,4	325,9	0,0	0,0	821,1
Ek_H_TABS	1137,7	1151,1	993,0	1006,1	919,0	932,0	880,2	893,1	854,6	867,2	837,1	849,6	809,8	821,8	641,3	650,5	395,4	401,0	0,0	0,0	1010,3	1023,6
Q_C_TABS	3753,6	3746,7	3543,3	3536,6	3342,0	3336,2	3196,7	3191,7	2985,7	2981,7	2703,0	2700,3	2411,7	2410,1	1523,6	1524,8	601,7	603,9	0,0	0,0	3689,6	3682,6
Ek_C_TABS	1072,5	1070,5	1012,4	1010,5	954,9	953,2	913,4	911,9	853,1	851,9	772,3	771,5	689,1	688,6	435,3	435,7	171,9	172,5	0,0	0,0	1054,2	1052,2
Q_H_AIR	70,4	70,4	68,7	68,7	61,7	61,7	54,3	54,3	43,0	43,0	32,5	32,5	25,7	25,7	27,4	27,4	54,8	54,8	77,2	77,2	128,6	128,6
Ek_H_AIR	86,9	86,6	84,8	84,5	76,2	75,9	67,0	66,8	53,1	52,9	40,2	40,0	31,7	31,6	33,9	33,8	67,6	67,4	95,3	95,0	158,8	158,2
Q_C_AIR	11720,6	11720,6	11935,6	11935,6	12241,1	12241,1	12477,7	12477,7	12893,1	12893,1	13525,6	13525,6	14195,6	14195,6	16223,8	16223,8	18542,3	18542,3	11572,5	11572,5	19478,7	19478,7
Ek_C_AIR	3866,0	4037,8	3936,9	4111,9	4037,6	4217,1	4115,7	4298,6	4252,7	4441,7	4461,3	4659,6	4682,3	4890,4	5351,3	5589,2	6116,1	6387,9	3817,1	3986,8	6424,9	6710,5

Tab. 5.35 Roczne zapotrzebowanie na ciepło i chłód oraz zapotrzebowanie na energię końcową systemu TABS i systemu wentylacyjnego w wariantach A (wentylacja działa w godzinach 8:00-20:15) i B (wentylacja działa tylko podczas obecności ludzi) w orientacji NE dla różnych wartości ΔT_{HVC} [K] (temperatura w pomieszczeniach sąsiednich nie jest utrzymywana w przedziale 22-24°C); [kWh/a]

Parametr	NE_A; $\Delta T_H/C=0$	NE_B; $\Delta T_H/C=0$	NE_A; $\Delta T_H/C=1$	NE_B; $\Delta T_H/C=1$	NE_A; $\Delta T_H/C=2$	NE_B; $\Delta T_H/C=2$	NE_A; $\Delta T_H/C=3$	NE_B; $\Delta T_H/C=3$	NE_A; $\Delta T_H/C=4$	NE_B; $\Delta T_H/C=4$	NE_A; $\Delta T_H/C=5$	NE_B; $\Delta T_H/C=5$	NE_A; $\Delta T_H/C=6$	NE_B; $\Delta T_H/C=6$	NE_A; $\Delta T_H/C=9$	NE_B; $\Delta T_H/C=9$	NE_A; $\Delta T_H/C=12$	NE_B; $\Delta T_H/C=12$	NE_A; $\Delta T_H/C=\infty$	NE_B; $\Delta T_H/C=\infty$	NE_A; $\Delta T_H/C=T_{av}$	NE_B; $\Delta T_H/C=T_{av}$
	Q_H_TABS	1684,9	1682,2	1556,6	1558,7	1497,0	1496,2	1455,4	1455,4	1420,1	1420,1	1386,9	1386,9	1329,6	1329,6	1032,8	1033,8	672,1	676,7	0,0	0,0	1468,4
Ek_H_TABS	2073,0	2069,7	1915,2	1917,7	1841,9	1840,9	1790,7	1790,7	1747,3	1747,2	1706,4	1706,4	1635,8	1635,9	1270,8	1271,9	827,0	832,5	0,0	0,0	1806,7	1806,7
Q_C_TABS	3428,5	3434,7	3229,8	3240,6	3066,6	3077,1	2964,8	2964,8	2802,8	2802,8	2580,1	2580,2	2344,6	2344,7	1540,6	1541,5	671,0	673,1	0,0	0,0	1903,2	1903,9
Ek_C_TABS	979,6	981,3	922,8	925,9	876,2	879,2	847,1	847,1	800,8	800,8	737,2	737,2	669,9	669,9	440,2	440,4	191,7	192,3	0,0	0,0	543,8	544,0
Q_H_AIR	73,7	74,9	74,2	74,8	67,9	68,9	65,0	65,0	57,1	57,1	53,8	53,8	63,3	63,1	175,3	161,2	737,0	645,4	17,7	17,7	3708,1	3520,1
Ek_H_AIR	90,7	92,2	91,2	92,0	83,5	84,8	80,0	80,0	70,2	70,2	66,2	66,2	77,9	77,7	215,7	198,4	906,8	794,1	21,7	21,7	4562,3	4331,1
Q_C_AIR	10628,5	10593,5	10775,2	10745,2	10975,3	10936,4	10996,1	10996,0	11236,8	11236,6	11696,9	11696,4	12041,2	12039,7	13047,7	13032,5	15023,7	14964,5	15703,8	15699,3	17532,2	17437,1
Ek_C_AIR	3661,5	3649,5	3712,1	3701,7	3781,0	3767,6	3788,2	3788,2	3871,1	3871,0	4029,6	4029,5	4148,2	4147,7	4495,0	4489,8	5175,7	5155,3	5410,0	5408,5	6039,9	6007,1

Tab. 5.36 Roczne zapotrzebowanie na ciepło i chłód oraz zapotrzebowanie na energię końcową systemu TABS i systemu wentylacyjnego w wariantach A (wentylacja działa w godzinach 8:00-20:15) i B (wentylacja działa tylko podczas obecności ludzi) w orientacji SW dla różnych wartości ΔT_{HVC} [K] (temperatura w pomieszczeniach sąsiednich nie jest utrzymywana w przedziale 22-24°C); [kWh/a]

Parametr	SW_A; $\Delta T_H/C=0$	SW_B; $\Delta T_H/C=0$	SW_A; $\Delta T_H/C=1$	SW_B; $\Delta T_H/C=1$	SW_A; $\Delta T_H/C=2$	SW_B; $\Delta T_H/C=2$	SW_A; $\Delta T_H/C=3$	SW_B; $\Delta T_H/C=3$	SW_A; $\Delta T_H/C=4$	SW_B; $\Delta T_H/C=4$	SW_A; $\Delta T_H/C=5$	SW_B; $\Delta T_H/C=5$	SW_A; $\Delta T_H/C=6$	SW_B; $\Delta T_H/C=6$	SW_A; $\Delta T_H/C=9$	SW_B; $\Delta T_H/C=9$	SW_A; $\Delta T_H/C=12$	SW_B; $\Delta T_H/C=12$	SW_A; $\Delta T_H/C=\infty$	SW_B; $\Delta T_H/C=\infty$	SW_A; $\Delta T_H/C=T_{av}$	SW_B; $\Delta T_H/C=T_{av}$
	Q_H_TABS	1701,1	1701,1	1576,9	1576,9	1511,9	1511,9	1467,2	1467,2	1431,1	1431,1	1396,4	1396,4	1338,6	1338,7	1036,7	1037,6	670,5	674,9	0,0	0,0	1593,9
Ek_H_TABS	2093,0	2100,1	1940,2	1946,8	1860,2	1866,6	1805,2	1811,4	1760,8	1766,8	1718,1	1724,0	1647,0	1652,7	1275,5	1281,0	825,0	833,2	0,0	0,0	1961,1	1967,7
Q_C_TABS	3426,5	3426,6	3235,4	3235,4	3074,1	3074,1	2963,0	2963,1	2804,4	2804,5	2585,6	2585,7	2354,0	2354,2	1552,0	1553,1	682,6	684,9	0,0	0,0	3349,5	3349,5
Ek_C_TABS	979,0	979,0	924,4	924,4	878,3	878,3	846,6	846,6	801,3	801,3	738,8	738,8	672,6	672,6	443,4	443,7	195,0	195,7	0,0	0,0	957,0	957,0
Q_H_AIR	102,2	102,2	99,8	99,7	91,4	91,4	86,7	86,7	76,9	76,9	69,1	69,1	74,6	74,2	192,7	178,6	748,3	656,0	111,7	111,5	3632,6	3446,0
Ek_H_AIR	125,7	125,7	122,8	122,7	112,5	112,5	106,6	106,6	94,6	94,6	85,0	85,0	91,7	91,3	237,1	219,7	920,7	807,2	137,4	137,2	4469,4	4239,8
Q_C_AIR	10617,9	10617,7	10771,8	10771,6	10967,7	10967,4	11037,9	11037,6	11295,3	11294,9	11778,1	11777,0	12166,7	12164,2	13359,2	13340,9	15567,5	15500,9	10408,0	10407,8	18323,8	18218,8
Ek_C_AIR	3657,9	3657,8	3710,9	3710,8	3778,4	3778,3	3802,6	3802,5	3891,3	3891,1	4057,6	4057,2	4191,5	4190,6	4602,3	4596,0	5363,1	5340,1	3585,6	3585,5	6312,6	6276,5

Utrzymywanie komfortowej temperatury w pomieszczeniach sąsiednich (22-24°C) znacząco wpływa na zmniejszenie zapotrzebowania na energię w analizowanych pomieszczeniach. Brak kontroli temperatury w pomieszczeniach sąsiednich prowadzi do wyraźnie wyższego zapotrzebowania na energię zarówno dla systemu TABS, jak i systemu wentylacyjnego (AIR).

Obliczenia zapotrzebowania na energię pierwotną wykonano stosując wzór (4.1).

Przykład wielkości różnic w rocznym zapotrzebowaniu na energię pierwotną, oraz udział poszczególnych składników, dla systemu HVAC z (TABS+VAV) dla wariantów pracy wentylacji A (wentylacja działa w godzinach 8:00-20:15) i B (wentylacja działa tylko podczas obecności ludzi) oraz dwóch trybów otoczenia, przedstawiono dla orientacji SW na Rys. 60 do Rys. 63. Porównanie wartości zapotrzebowania na energię pierwotną, dla wszystkich analizowanych wariantów pokazano na Rys. 64.

Zapotrzebowanie na energię pierwotną na potrzeby ogrzewania, dla systemu powietrznego ($E_{p_AIR_H}$) stanowi najniższy udział całkowitego zapotrzebowania na energię pierwotną. We wszystkich rozważanych przypadkach, niezależnie od orientacji przegród zewnętrznych i trybu pracy wentylacji dla $\Delta T_{H/C}$ od 0K do 12K nie przekracza 1%, a dla $\Delta T_{H/C}$ wyznaczonego w oparciu o równanie uśredniające wynosi około 0,1% dla orientacji NE i 0,55% dla SW.

W przypadku wartości odzwierciedlającej zapotrzebowanie na energię pierwotną do dostarczenia chłodu dla systemu wentylacyjnego ($E_{p_AIR_C}$), widoczne jest rozróżnienie względem warunków w sąsiednich pomieszczeniach. W przypadku orientacji SW, gdy otoczenie nie jest klimatyzowane zapotrzebowanie na $E_{p_AIR_C}$ stanowi od około 55% dla wariantu z $\Delta T_{H/C}$ od 0K do 60% gdy $\Delta T_{H/C}$ 4K. Te wartości są wyższe gdy utrzymywana jest w sąsiadujących pomieszczeniach temperatura komfortowa i wynoszą kolejno 64% i 72% (Rys. 61 i Rys. 63). Podobne wartości otrzymano w przypadku orientacji NE.

Dla sterowania trybem pracy TABS w oparciu o równanie uśredniające, w przypadku orientacji SW, zapotrzebowanie na energię pierwotną na potrzeby dostarczenia chłodu poprzez instalację wentylacyjną, wynosi dla wariantów, w których temperatura w pomieszczeniach otaczających nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym około 55% i jest wyższe o blisko 10 punktów procentowych, gdy jest w przedziale 22-24°C. W orientacji NE te wartości są wyższe i wynoszą kolejno około 70% i 79% całkowitego zapotrzebowania na energię pierwotną.

Udział systemu wentylacyjnego (VAV) w całkowitym zapotrzebowaniu na energię pierwotną wzrasta wraz ze wzrostem wartości $\Delta T_{H/C}$, gdyż im wyższa wartość różnicy temperatury przełączenia tym większy wkład instalacji wentylacyjnej w utrzymanie parametrów komfortu termicznego w pomieszczeniu.

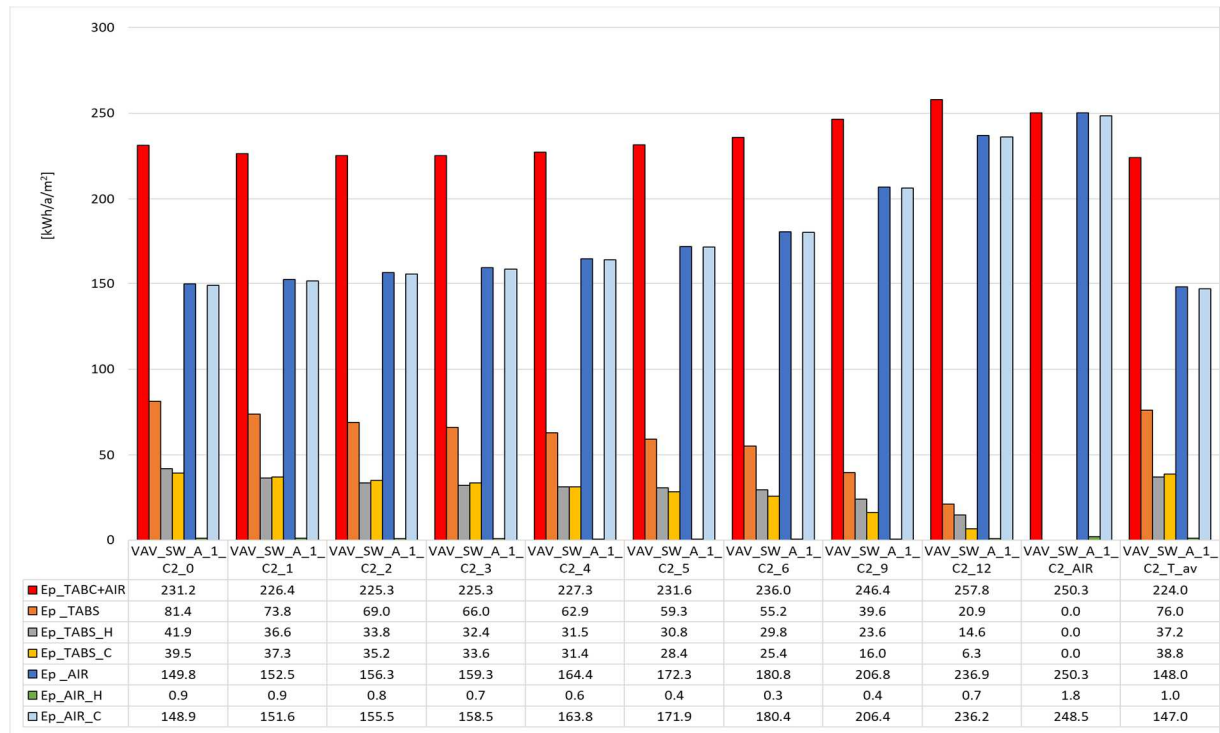
W przypadku orientacji południowo-zachodniej wzrasta od wartości około 55% (136kWh/a/m² z 249 kWh/a/m²), gdy pomieszczenia otaczające nie są klimatyzowane i około 65% (149kWh/a/m² z 231kWh/a/m²) gdy są klimatyzowane. W przypadku orientacji północno-wschodniej również wzrasta od wartości około 55% (135kWh/a/m² z 248kWh/a/m²), gdy pomieszczenia otaczające nie są klimatyzowane i około 65% (148kWh/a/m² z 229kWh/a/m²) gdy są klimatyzowane.

Porównując obie orientacje największe różnice dotyczą trybu, w którym temperatury przełączenia są wyznaczone w oparciu o równanie uśredniające, gdyż udział powietrza w utrzymaniu komfortu jest wyższy aż o 14 punktów procentowych w NE w każdym z wariantów związanych z otoczeniem i trybem pracy wentylacji.

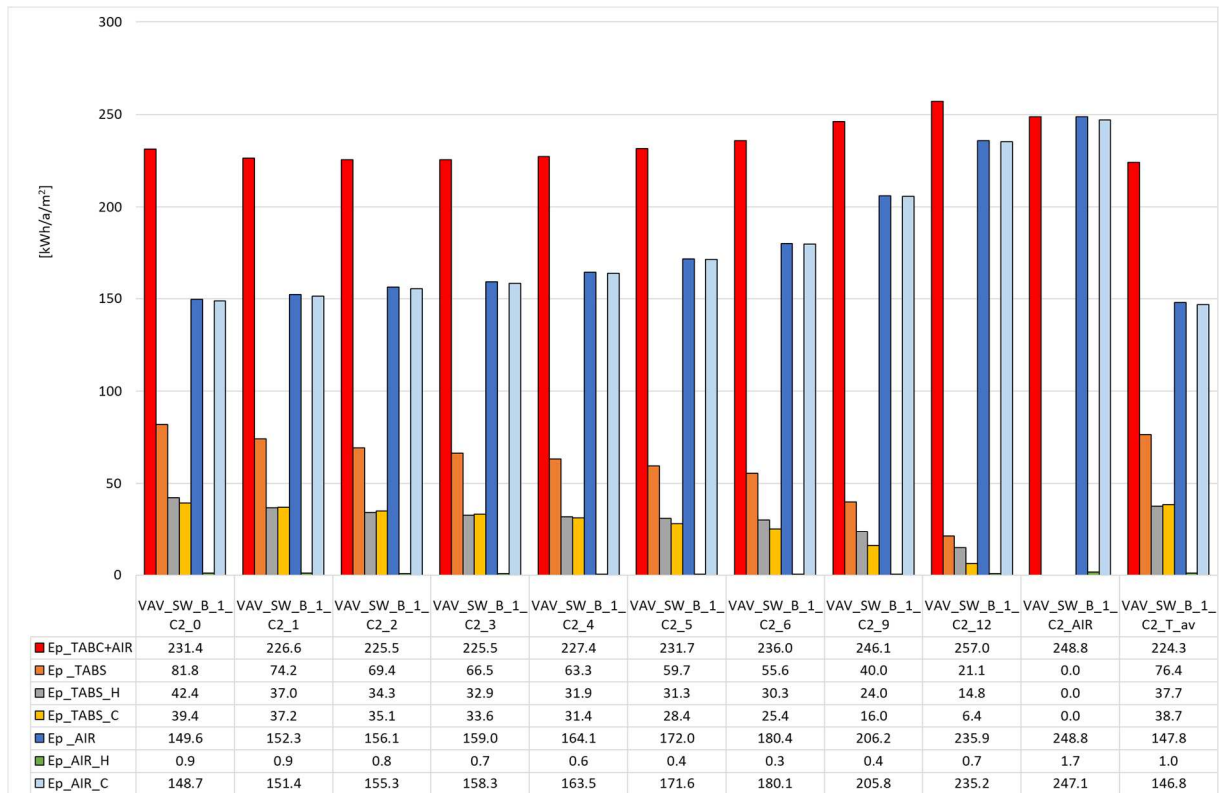
Zapotrzebowanie na energię pierwotną dla dostarczenia ciepła poprzez system TABS dla $\Delta T_{H/C}=0K$ stanowi w przypadku orientacji NE i SW około 30% (76kWh/a/m²) gdy pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane i 18% (42kWh/a/m²) gdy są klimatyzowane.

Zapotrzebowanie na energię pierwotną dla dostarczenia chłodu poprzez system TABS dla $\Delta T_{H/C}=0K$ stanowi w przypadku orientacji NE i SW około 14% ($36kWh/a/m^2$) gdy pomieszczenia sąsiadujące nie są klimatyzowane i 17% ($39kWh/a/m^2$) gdy są klimatyzowane.

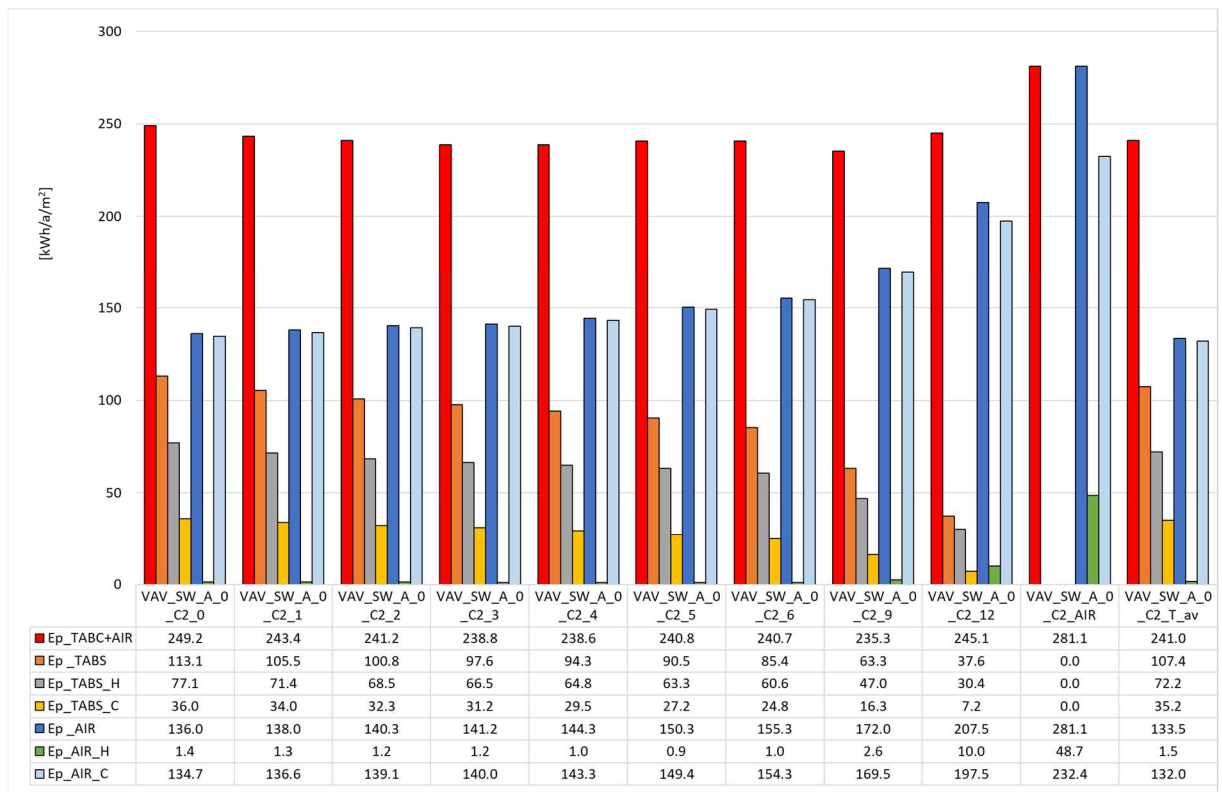
Udział stropów aktywowanych termicznie (TABS) w całkowitym zapotrzebowaniu na energię pierwotną maleje wraz ze wzrostem wartości $\Delta T_{H/C}$, gdyż im wyższa wartość różnicy temperatury przełączenia tym dłuższy jest okres przerwy w pracy systemu. Maleje od wartości około 45% (SW: $113kWh/a/m^2$; NE: $112kWh/a/m^2$), gdy pomieszczenia otaczające nie są klimatyzowane i około 35% (SW, NE: $81kWh/a/m^2$) gdy są klimatyzowane. Porównując obie orientacje największe różnice dotyczą trybu, w którym temperatury przełączenia są wyznaczone w oparciu o równanie uśredniające, gdyż udział TABS w utrzymaniu komfortu jest niższy aż o około 14 punktów procentowych w NE w każdym z wariantów związanych z otoczeniem i trybem pracy wentylacji.



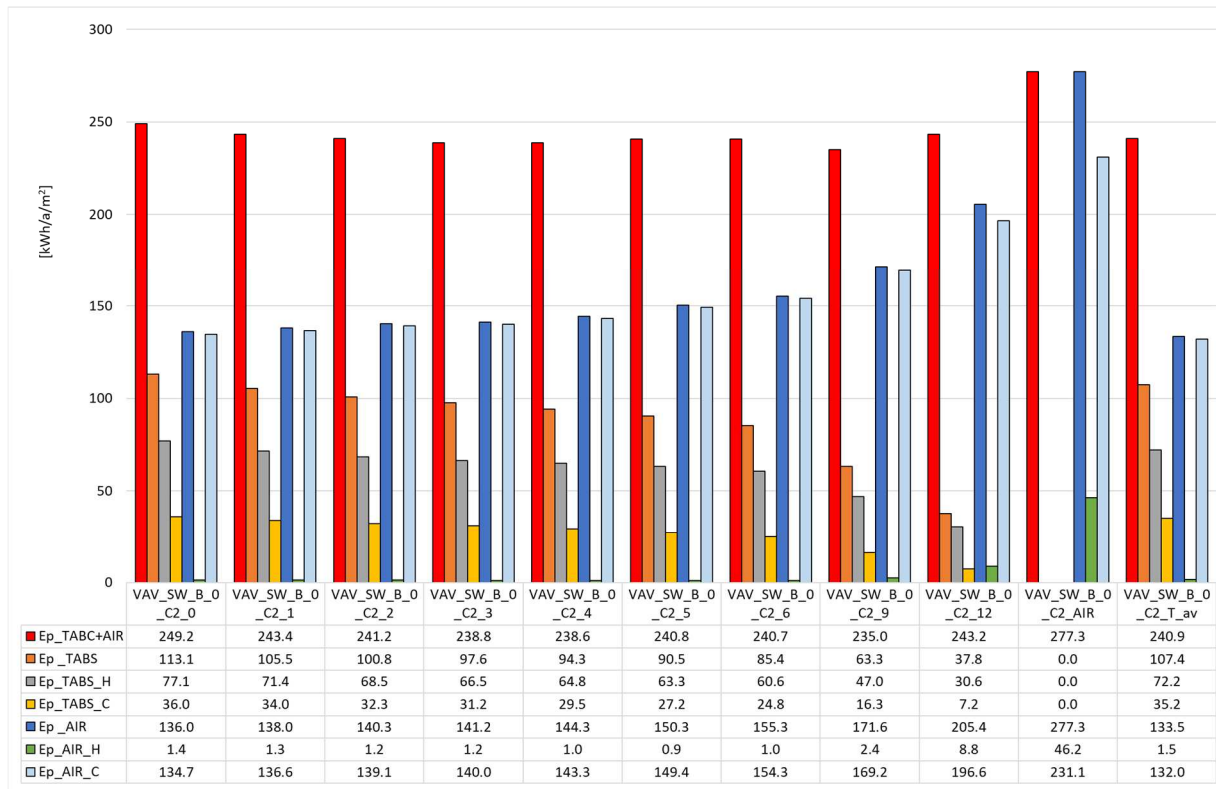
Rys. 60 Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną systemu TABS i systemu wentylacyjnego w wariantach A (wentylacja działa w godzinach 8:00-20:15) w orientacji SW dla różnych wartości $\Delta T_{H/C}$ (temperatura w pomieszczeniach sąsiadujących jest utrzymywana w przedziale komfortowym) [$kWh/(m^2 \cdot a)$]



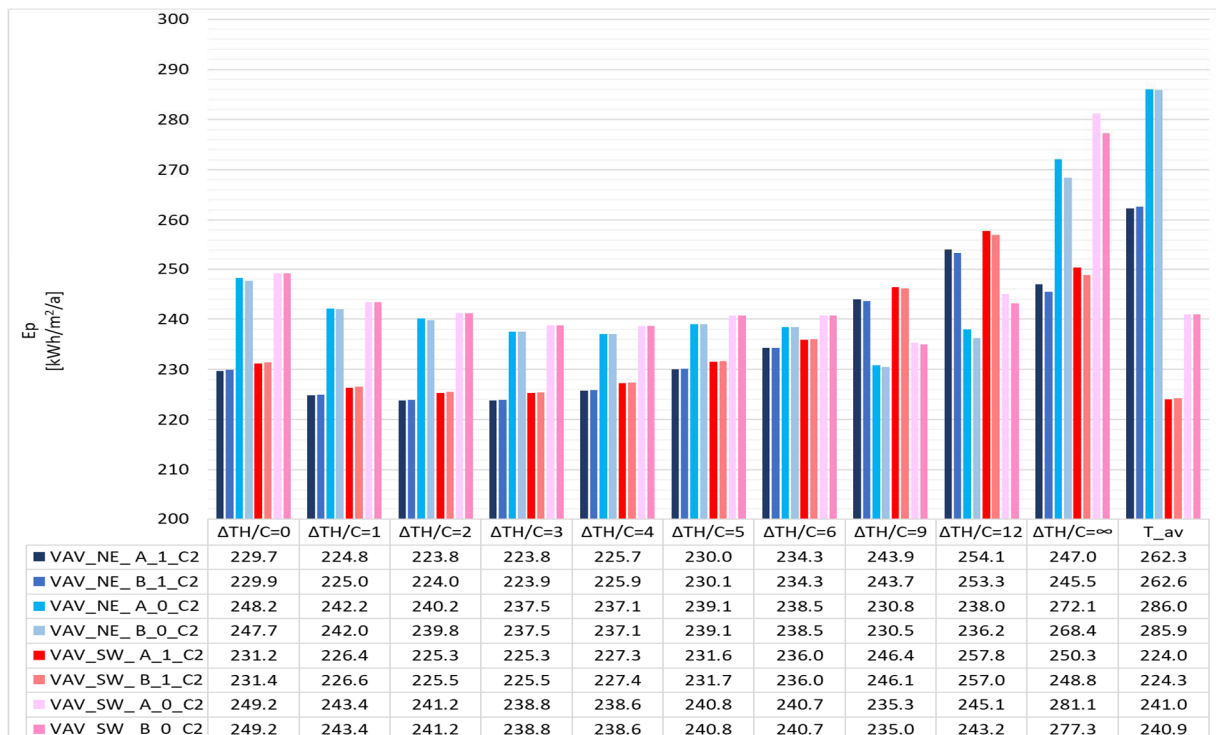
Rys. 61 Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną systemu TABS i systemu wentylacyjnego w wariancie B (wentylacja działa podczas obecności ludzi) w orientacji SW dla różnych wartości $\Delta T_{H/C}$ (temperatura w pomieszczeniach sąsiednich jest utrzymywana w przedziale komfortowym) [kWh/(m²·a)]



Rys. 62 Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną systemu TABS i systemu wentylacyjnego w wariancie A (wentylacja działa w godzinach 8:00-20:15) w orientacji SW dla różnych wartości $\Delta T_{H/C}$ (temperatura w pomieszczeniach sąsiednich nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym) [kWh/(m²·a)]



Rys. 63 Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną systemu TABS i systemu wentylacyjnego w wariancie B (wentylacja działa podczas obecności ludzi) w orientacji SW dla różnych wartości $\Delta T_{H/C}$ (temperatura w pomieszczeniach sąsiednich nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym) [kWh/(m²·a)]



Rys. 64 Porównanie wartości całkowitego zapotrzebowania na energię pierwotną dla systemu HVAC z (TABs+VAV) (A - wentylacja w godzinach 8:00 -20:15, wariant B - wentylacja tylko jak są ludzie, 0- temperatura w pomieszczeniach sąsiednich nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym 1 - temperatura w pomieszczeniach sąsiednich w przedziale komfortowym 22-24°C)

Rys. 64 przedstawia porównanie wartości całkowitego zapotrzebowania na energię pierwotną dla systemu HVAC z (TABS+VAV) dla wszystkich analizowanych wariantów.

Zapotrzebowanie na energię pierwotną dla systemu HVAC z (TABS+VAV) jest wyższe w przypadku, gdy temperatura w pomieszczeniach sąsiednich nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym (warianty oznaczone jako 0), szczególnie przy wysokich wartościach $\Delta T_{H/C}$. W tych przypadkach zapotrzebowanie na energię pierwotną wynosi od około 250 kWh/m²/a do nawet ponad 280 kWh/m²/a.

Kiedy temperatura w pomieszczeniach sąsiednich jest utrzymywana w przedziale komfortowym 22-24°C (warianty oznaczone jako 1), zapotrzebowanie na energię pierwotną jest niższe i wynosi od około 220 kWh/m²/a do około 260 kWh/m²/a, w zależności od wartości $\Delta T_{H/C}$.

Sterowanie trybem pracy stropu aktywowanego termicznie w oparciu o równanie uśredniające, daje znacząco lepsze efekty w przypadku orientacji SW niż NE.

Tab. 5.37 Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną (E_p), liczba godzin w przedziale komfortu temperaturowego ($Top \in [22, 24]$), poniżej 22°C ($Top < 22$) oraz powyżej 24°C ($Top > 24$) w pomieszczeniu o orientacji NE dla różnych $\Delta T_{H/C}$ i trybów wentylacji

Warianty: A - wentylacja w godz. 8:00 - 20:15, B - wentylacja tylko podczas obecności ludzi, 0 - brak kontroli temperatury w pomieszczeniach sąsiednich, 1 - temperatura w pomieszczeniach sąsiednich utrzymywana w przedziale 22-24°C

	E_p [kWh/a]	E_p [kWh/a/ m ²]	Top \in [22, 24] [h]	Top < 22 [h]	Top > 24 [h]	E_p [kWh/a]	E_p [kWh/a/ m ²]	Top \in [22, 24] [h]	Top < 22 [h]	Top > 24 [h]
	VAV_NE_A_1_C2					VAV_NE_A_0_C2				
$\Delta T_{H/C}=0$	15593,6	229,7	2529,5	43,0	168,0	16852,4	248,2	2584,3	61,0	95,3
$\Delta T_{H/C}=1$	15264,0	224,8	2491,5	42,5	206,5	16442,7	242,2	2554,0	60,8	125,8
$\Delta T_{H/C}=2$	15193,6	223,8	2449,8	39,5	251,3	16309,5	240,2	2536,5	57,8	146,3
$\Delta T_{H/C}=3$	15194,3	223,8	2404,8	36,3	299,5	16124,1	237,5	2527,0	58,8	154,8
$\Delta T_{H/C}=4$	15326,2	225,7	2333,5	32,0	375,0	16099,9	237,1	2493,5	54,3	192,8
$\Delta T_{H/C}=5$	15618,2	230,0	2187,3	27,3	526,0	16232,1	239,1	2400,5	50,3	289,8
$\Delta T_{H/C}=6$	15906,2	234,3	2034,8	24,5	681,3	16192,5	238,5	2300,8	49,8	390,0
$\Delta T_{H/C}=9$	16562,1	243,9	1562,3	23,0	1155,3	15674,4	230,8	1715,0	98,3	927,3
$\Delta T_{H/C}=12$	17253,8	254,1	1237,8	34,5	1468,3	16157,1	238,0	1105,3	338,0	1297,3
$\Delta T_{H/C}=\infty$	16768,6	247,0	1145,5	72,8	1522,3	18475,8	272,1	523,8	871,8	1345,0
T_{av}	17809,6	262,3	1486,3	8,5	1245,8	19417,3	286,0	1531,0	21,3	1188,3
	VAV_NE_B_1_C2					VAV_NE_B_0_C2				
$\Delta T_{H/C}=0$	15608,9	229,9	2530,3	43,3	167,0	16819,5	247,7	2585,8	61,3	93,5
$\Delta T_{H/C}=1$	15277,8	225,0	2492,3	42,8	205,5	16431,5	242,0	2558,3	61,3	121,0
$\Delta T_{H/C}=2$	15206,2	224,0	2451,5	39,5	249,5	16282,0	239,8	2539,3	57,8	143,5
$\Delta T_{H/C}=3$	15205,2	223,9	2408,3	36,3	296,0	16124,0	237,5	2527,0	58,8	154,8
$\Delta T_{H/C}=4$	15335,7	225,9	2337,3	32,3	371,0	16099,7	237,1	2493,5	54,3	192,8
$\Delta T_{H/C}=5$	15626,4	230,1	2192,5	27,3	520,8	16231,6	239,1	2400,5	50,3	289,8
$\Delta T_{H/C}=6$	15910,0	234,3	2037,0	24,5	679,0	16191,2	238,5	2300,8	49,8	390,0
$\Delta T_{H/C}=9$	16543,9	243,7	1563,5	23,3	1153,8	15652,1	230,5	1711,5	101,5	927,5
$\Delta T_{H/C}=12$	17202,1	253,3	1238,3	35,3	1467,0	16038,1	236,2	1084,5	358,0	1298,0
$\Delta T_{H/C}=\infty$	16669,8	245,5	1143,5	76,3	1520,8	18222,9	268,4	506,3	890,3	1344,0
T_{av}	17829,8	262,6	1486,5	8,8	1245,3	19413,9	285,9	1531,0	21,3	1188,3

Tab. 5.38 Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną (E_p), liczba godzin w przedziale komfortu temperaturowego ($Top \in [22, 24]$), poniżej 22°C ($Top < 22$) oraz powyżej 24°C ($Top > 24$) w pomieszczeniu o orientacji SW dla różnych $\Delta T_{H/C}$ i trybów wentylacji

Warianty: A - wentylacja w godz. 8:00 - 20:15, B - wentylacja tylko podczas obecności ludzi, 0 - brak kontroli temperatury w pomieszczeniach sąsiednich, 1 - temperatura w pomieszczeniach sąsiednich utrzymywana w przedziale $22-24^\circ\text{C}$

	E_p [kWh/a]	E_p [kWh/a/ m^2]	Top $\in [22,$ 24] [h]	Top < 22 [h]	Top > 24 [h]	E_p [kWh/a]	E_p [kWh/a/ m^2]	Top $\in [22,$ 24] [h]	Top < 22 [h]	Top > 24 [h]
	VAV_SW_A_1_C2					VAV_SW_A_0_C2				
$\Delta T_{H/C}=0$	15696,7	231,2	2428,0	54,3	258,3	16917,7	249,2	2490,5	77,5	172,5
$\Delta T_{H/C}=1$	15369,3	226,4	2383,3	53,0	304,3	16529,7	243,4	2465,3	77,3	198,0
$\Delta T_{H/C}=2$	15298,9	225,3	2342,0	49,0	349,5	16375,7	241,2	2431,0	75,0	234,5
$\Delta T_{H/C}=3$	15297,2	225,3	2300,3	45,8	394,5	16214,9	238,8	2418,3	72,3	250,0
$\Delta T_{H/C}=4$	15431,6	227,3	2222,5	40,8	477,3	16203,4	238,6	2381,8	70,8	288,0
$\Delta T_{H/C}=5$	15723,1	231,6	2084,8	35,3	620,5	16349,1	240,8	2287,3	63,8	389,5
$\Delta T_{H/C}=6$	16021,3	236,0	1948,0	31,0	761,5	16345,6	240,7	2173,0	62,8	504,8
$\Delta T_{H/C}=9$	16731,9	246,4	1510,0	27,5	1203,0	15978,5	235,3	1641,5	104,5	994,5
$\Delta T_{H/C}=12$	17506,4	257,8	1207,0	38,5	1495,0	16638,9	245,1	1057,3	342,3	1341,0
$\Delta T_{H/C}=\infty$	16993,6	250,3	1121,3	78,8	1540,5	19088,9	281,1	498,3	862,8	1379,5
T_{av}	15212,4	224,0	2434,3	58,5	247,8	16360,7	241,0	2501,0	83,3	156,3
	VAV_SW_B_1_C2									
$\Delta T_{H/C}=0$	15712,6	231,4	2428,5	55,0	257,0	16917,5	249,2	2490,5	77,5	172,5
$\Delta T_{H/C}=1$	15383,6	226,6	2383,3	54,0	303,3	16529,4	243,4	2465,3	77,3	198,0
$\Delta T_{H/C}=2$	15311,9	225,5	2342,8	49,8	348,0	16375,4	241,2	2431,0	75,0	234,5
$\Delta T_{H/C}=3$	15308,5	225,5	2301,5	46,5	392,5	16214,6	238,8	2418,3	72,3	250,0
$\Delta T_{H/C}=4$	15441,3	227,4	2225,3	41,8	473,5	16203,1	238,6	2381,8	70,8	288,0
$\Delta T_{H/C}=5$	15731,5	231,7	2089,0	36,0	615,5	16348,3	240,8	2287,3	63,8	389,5
$\Delta T_{H/C}=6$	16025,5	236,0	1950,8	31,5	758,3	16343,3	240,7	2172,5	62,8	505,3
$\Delta T_{H/C}=9$	16713,3	246,1	1512,0	29,3	1199,3	15953,5	235,0	1637,0	108,3	995,3
$\Delta T_{H/C}=12$	17453,4	257,0	1206,3	40,0	1494,3	16512,8	243,2	1040,3	359,3	1341,0
$\Delta T_{H/C}=\infty$	16893,3	248,8	1117,8	83,8	1539,0	18828,6	277,3	481,8	880,5	1378,3
T_{av}	15226,7	224,3	2435,0	59,3	246,3	16360,4	240,9	2500,8	83,3	156,5

Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną (E_p) oraz liczbę godzin w przedziale komfortu temperaturowego ($Top \in [22, 24]$), poniżej 22°C ($Top < 22$) oraz powyżej 24°C ($Top > 24$) dla różnych wartości $\Delta T_{H/C}$ i trybów wentylacji w pomieszczeniach o orientacji NE i SW przedstawiono w Tab. 5.37 i Tab. 5.38.

Przedział temperatur komfortowych był utrzymany najdłużej w przypadku wariantu NE dla $\Delta T_{H/C}=0\text{K}$ w wariacie B_0_C2 i wynosi 2585,8h (92% całkowitego czasu obłożenia pomieszczenia) i jest dłuższy od najdłuższego czasu komfortu w wariacie SW w wariacie B_0_C2_ T_{av} o 85h co stanowi 3%.

Wybór optymalnego wariantu powinien uwzględniać zarówno zapotrzebowanie na energię, jak i czas w przedziale komfortu temperaturowego, aby zapewnić najbardziej zrównoważone i komfortowe warunki i zostanie przedstawiony w punkcie 5.7.

5.6.3. System HVAC z TABS i wentylacją higieniczną i na potrzeby odprowadzenia obciążeń termicznych (VAV), dla zmiennego obciążenia (harmonogramy: C3, C4, C5, C6)

Wykonano czterdzieści cztery symulacje działania systemu HVAC z TABS z wentylacją działającą na potrzeby higieniczne i odbioru obciążeń termicznych. Dla zmiennego w czasie obciążenia, wynoszącego sumarycznie w ciągu doby 80%, dokonano sprawdzenia wpływu czasu pracy wentylacji na poziom komfortu w pomieszczeniu dla wariantu, w którym, wentylacja pracuje wyłącznie podczas obecności ludzi wewnątrz pomieszczenia, według przyjętego harmonogramu obciążeń C3-C6 (Rys. 18-Rys. 21), dla orientacji południowo-zachodniej, gdy temperatura w pomieszczeniach sąsiadujących nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym. Określono również zapotrzebowanie na energię pierwotną.

Tab. 0.24 przedstawia zestawienie wykonanych czterdzieści cztery symulacje, wraz z przyjętymi oznaczeniami. Nazewnictwo wariantów systemu HVAC z (TABS +VAV) stosowane w niniejszej analizie składa się z kilku elementów, które precyzyjnie określają konfigurację i warunki pracy systemu i zostało opisane w punkcie 5.6. Warianty symulacji zestawiono w Tab. 0.24, która znajduje się w załączniku Z2.

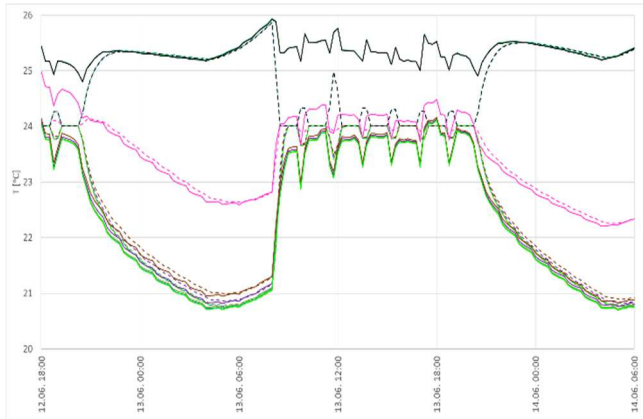
Ocena komfortu cieplnego

Na Rys. 65-Rys. 68 przedstawiono przebieg zmian temperatury powietrza dla różnych harmonogramów obciążenia pomieszczenia o orientacji południowo-zachodniej, gdy w pomieszczeniach sąsiadujących temperatura powietrza nie jest utrzymywana w komfortowym przedziale (22-24°C). Przebieg temperatury dla różnych wariantów przełączenia $\Delta T_{H/C}$ dla wariantu charakteryzującego się lewostronnym rozkładem, ze szczytem obciążenia (obciążenie 100%) w godzinach od 8:00 do 11:15 pokazano na Rys. 65. Na wykresie widoczny jest wzrost temperatury powietrza i operatywnej w godzinach porannych. Wariant C4 (Rys. 66) charakteryzuje się rozkładem normalnym, w którym szczyt występuje w godzinach od 11:15 do 15:00. Na wykresie widoczny jest wzrost temperatury operatywnej w godzinach południowych. Przebieg temperatury dla różnych wartości $\Delta T_{H/C}$ dla wariantu C5 pokazano na Rys. 67. Jest to wariant o prawostronnym rozkładzie ze szczytem obciążeń od 15:15 do 18:30. Na wykresie widoczny jest wzrost temperatury w późnych godzinach popołudniowych. Wariant C6 (Rys. 68) charakteryzuje się rozkładem bimodalnym w którym szczyty obciążeń występują w godzinach 9:15 do 11:15 oraz od 15:15 do 16:45.

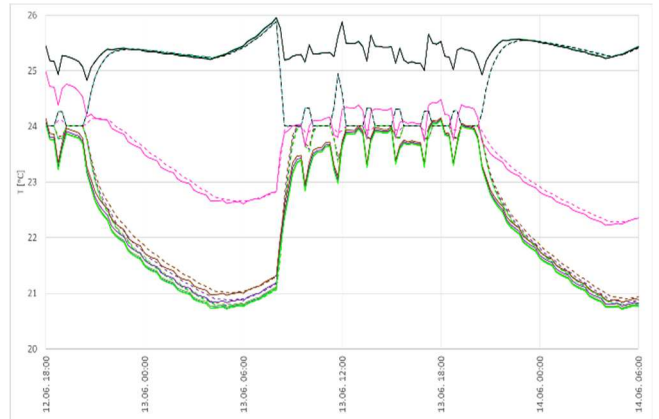
We wszystkich przypadkach, wraz ze wzrostem wartości $\Delta T_{H/C}$ wzrasta temperatura operatywna. Najwyższe wartości są dla wariantu, w którym nie działają stropy aktywowane termicznie (AIR). Gdy wartość $\Delta T_{H/C}$ jest równa 12 krzywe obrazujące przebieg temperatury operatywnej na Rys. 65-Rys. 68 pokrywają się z przebiegiem dla wariantu temperatury przełączenia oznaczonego jako AIR.

Porównanie procentowego udziału godzin trwania poszczególnych przedziałów temperatury powietrza dla wariantów C3-C6 i C2 (dla porównania) w orientacji SW, przy wentylacji działającej wyłącznie podczas obecności osób w pomieszczeniu (B) oraz braku utrzymywania temperatury komfortowej w sąsiadujących pomieszczeniach przedstawia

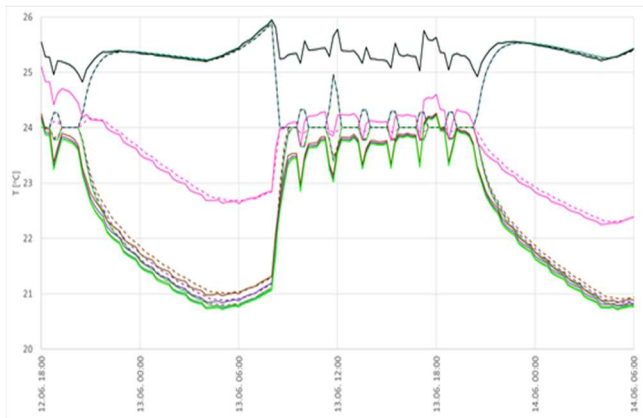
Tab. 5.39 .



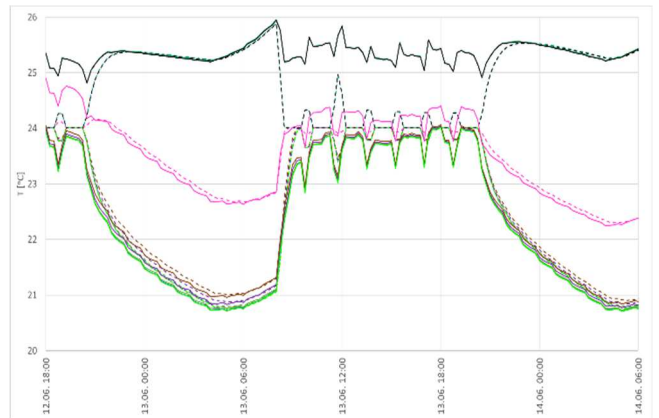
Rys. 65 Przebieg temperatur powietrza w najcieplejszym dniu (13. czerwca) dla (TABS+VAV) dla wentylacji działającej w godzinach 8:00-20:15 w pomieszczeniu o orientacji SW, harmonogram obciążeń C3



Rys. 66 Przebieg temperatur powietrza w najcieplejszym dniu (13. czerwca) dla (TABS+VAV) dla wentylacji działającej w godzinach 8:00-20:15 w pomieszczeniu o orientacji SW, harmonogram obciążeń C4



Rys. 67 Przebieg temperatur powietrza w najcieplejszym dniu (13. czerwca) dla (TABS+VAV) dla wentylacji działającej w godzinach 8:00-20:15 w pomieszczeniu o orientacji SW, harmonogram obciążeń C5



Rys. 68 Przebieg temperatur powietrza w najcieplejszym dniu (13. czerwca) dla (TABS+VAV) dla wentylacji działającej w godzinach 8:00-20:15 w pomieszczeniu o orientacji SW, harmonogram obciążeń C6

Legenda:

---T_a_80_0	---T_a_80_1	---T_a_80_2	---T_a_80_3	---T_a_80_4
---T_a_80_5	---T_a_80_6	---T_a_80_9	---T_a_80_12	---T_a_80_AV
---T_a_80_AIR	T_op_80_0	T_op_80_1	T_op_80_2	T_op_80_3
T_op_80_4	T_op_80_5	T_op_80_6	T_op_80_9	T_op_80_12
T_op_80_AIR	T_op_80_AV			

Tab. 5.39 Procentowy udział godzin spędzonych w poszczególnych przedziałach temperatury powietrza dla wariantów C2-C6 w orientacji SW, przy wentylacji działającej wyłącznie podczas obecności osób w pomieszczeniu (B) oraz braku utrzymywania temperatury komfortowej w sąsiadujących pomieszczeniach, uszeregowany według wartości ΔT_{HC} (100% = 2740,5h)

Wariant	$T_{air} < 22^{\circ}\text{C}$	$22^{\circ}\text{C} \leq T_{air} \leq 24^{\circ}\text{C}$	$T_{air} > 24^{\circ}\text{C}$
T_air_SW_B_0_C2_0	2,10%	97,80%	0,10%
T_air_SW_B_0_C3_0	2,00%	98,00%	0,10%
T_air_SW_B_0_C4_0	2,10%	97,80%	0,10%
T_air_SW_B_0_C5_0	2,10%	97,80%	0,10%
T_air_SW_B_0_C6_0	2,10%	97,80%	0,10%
T_air_SW_B_0_C2_1	2,10%	97,90%	0,10%
T_air_SW_B_0_C3_1	1,90%	98,00%	0,10%
T_air_SW_B_0_C4_1	2,10%	97,80%	0,10%
T_air_SW_B_0_C5_1	2,10%	97,80%	0,10%
T_air_SW_B_0_C6_1	2,10%	97,80%	0,10%
T_air_SW_B_0_C2_2	2,00%	97,80%	0,10%
T_air_SW_B_0_C3_2	1,90%	97,90%	0,10%
T_air_SW_B_0_C4_2	2,10%	97,80%	0,10%
T_air_SW_B_0_C5_2	2,10%	97,80%	0,10%
T_air_SW_B_0_C6_2	2,10%	97,80%	0,10%
T_air_SW_B_0_C2_3	2,10%	97,80%	0,20%
T_air_SW_B_0_C3_3	1,90%	97,90%	0,20%
T_air_SW_B_0_C4_3	2,10%	97,70%	0,20%
T_air_SW_B_0_C5_3	2,10%	97,70%	0,20%
T_air_SW_B_0_C6_3	2,10%	97,70%	0,20%
T_air_SW_B_0_C2_4	2,00%	97,70%	0,20%
T_air_SW_B_0_C3_4	1,90%	97,80%	0,20%
T_air_SW_B_0_C4_4	2,10%	97,70%	0,20%
T_air_SW_B_0_C5_4	2,10%	97,70%	0,20%
T_air_SW_B_0_C6_4	2,10%	97,70%	0,20%
T_air_SW_B_0_C2_5	1,90%	97,70%	0,40%
T_air_SW_B_0_C3_5	1,80%	97,80%	0,40%
T_air_SW_B_0_C4_05	1,90%	97,60%	0,40%
T_air_SW_B_0_C5_05	1,90%	97,60%	0,40%
T_air_SW_B_0_C6_05	1,90%	97,60%	0,40%
T_air_SW_B_0_C2_6	1,70%	97,50%	0,80%
T_air_SW_B_0_C3_6	1,60%	97,60%	0,80%
T_air_SW_B_0_C4_6	1,80%	97,40%	0,80%
T_air_SW_B_0_C5_6	1,80%	97,40%	0,80%
T_air_SW_B_0_C6_6	1,80%	97,40%	0,80%
T_air_SW_B_0_C2_9	1,50%	95,70%	2,80%
T_air_SW_B_0_C3_9	1,30%	95,80%	2,90%
T_air_SW_B_0_C4_9	1,80%	95,40%	2,90%
T_air_SW_B_0_C5_9	1,80%	95,40%	2,90%
T_air_SW_B_0_C6_9	1,80%	95,40%	2,90%
T_air_SW_B_0_C2_12	4,80%	89,20%	6,10%
T_air_SW_B_0_C3_12	4,60%	89,30%	6,10%
T_air_SW_B_0_C4_12	5,50%	88,40%	6,10%
T_air_SW_B_0_C5_12	5,50%	88,40%	6,10%
T_air_SW_B_0_C6_12	5,50%	88,40%	6,10%
T_air_SW_B_0_C2_AIR	22,90%	70,10%	7,10%
T_air_SW_B_0_C3_AIR	23,40%	69,50%	7,10%
T_air_SW_B_0_C4_AIR	21,70%	71,20%	7,10%
T_air_SW_B_0_C5_AIR	21,70%	71,20%	7,10%
T_air_SW_B_0_C6_AIR	21,70%	71,20%	7,10%
T_air_SW_B_0_C2_AV	2,10%	97,80%	0,10%
T_air_SW_B_0_C3_AV	2,00%	97,90%	0,10%
T_air_SW_B_0_C4_AV	2,20%	97,70%	0,10%
T_air_SW_B_0_C5_AV	2,20%	97,70%	0,10%
T_air_SW_B_0_C6_AV	2,20%	97,70%	0,10%

We wszystkich wariantach przez większość czasu temperatura powietrza znajduje się w przedziale komfortowym. Ten czas zmniejsza się wraz ze wzrostem wartości $\Delta T_{H/C}$. Gdy system stropów aktywowanych termicznie nie działa, we wszystkich wariantach C2-C6, najdłuższy jest czas, gdy temperatura powietrza w pomieszczeniu jest poniżej 22°C (21%-23%) i powyżej 24°C (7%).

Czas trwania temperatury operatywnej w poniżej 22°C (Rys. 69) utrzymuje się na podobnym poziomie we wszystkich wariantach aż do $\Delta T_{H/C}$ równego 6K, powyżej tej wartości gwałtownie wzrasta. Gdy $\Delta T_{H/C}=\infty$ (strop aktywowany termicznie nie działa, grzanie i chłodzenie pomieszczenia wyłącznie poprzez system powietrzny), czas przechłodzenia jest najdłuższy we wszystkich analizowanych wariantach.

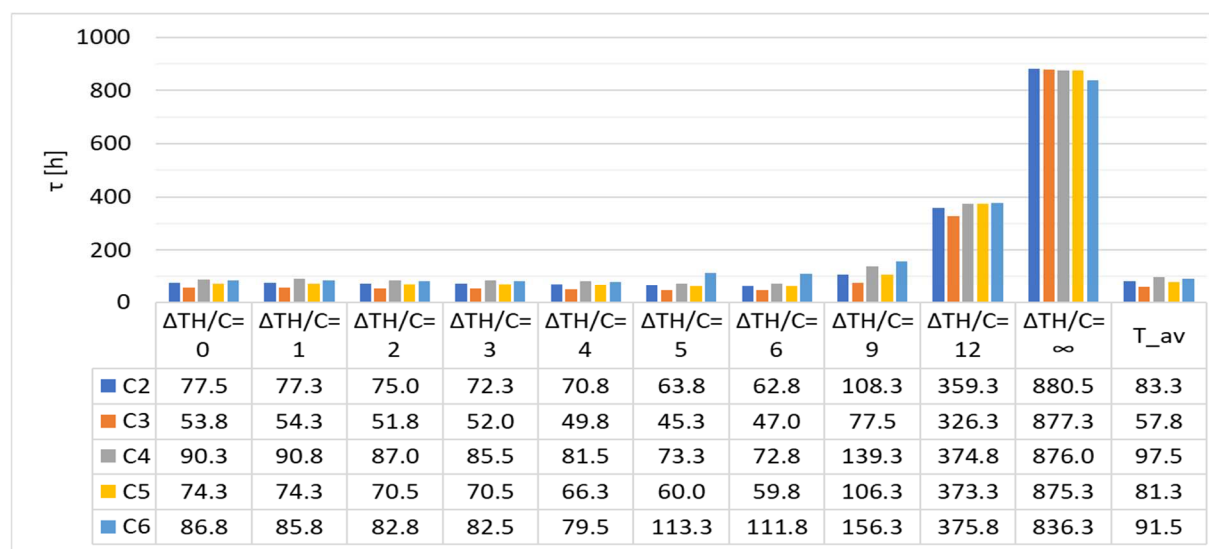
Czas, gdy temperatura operatywna jest w poniżej 22°C w wariantach, w którym temperatura przełączenia trybu działania stropu jest uzależniona od równania uśredniającego (T_{av}) jest podobny, jak w wariantach z niższymi wartościami $\Delta T_{H/C}$ (0K do 4K), co wskazuje, że równanie uśredniające skutecznie dostosowuje reakcję systemu na spadek temperatury.

Czas trwania temperatury operatywnej w przedziale 22-24°C (Rys. 70) zmniejsza się wraz ze wzrostem wartości $\Delta T_{H/C}$. W przypadku niskich wartości $\Delta T_{H/C}$ (od 0K do 3K), system HVAC z (TABS+VAV) skutecznie utrzymuje temperaturę w przedziale komfortu przez większość czasu (86% w przypadku normalnego rozkładu obciążeń, przy $\Delta T_{H/C}=92\%$ w przypadku lewostronnego rozkładu obciążeń, przy $\Delta T_{H/C}=0K$), w przedziale 22-24°C, we wszystkich wariantach obciążeń. Ten czas obniża się nieznacznie, gdy wartość $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6K.

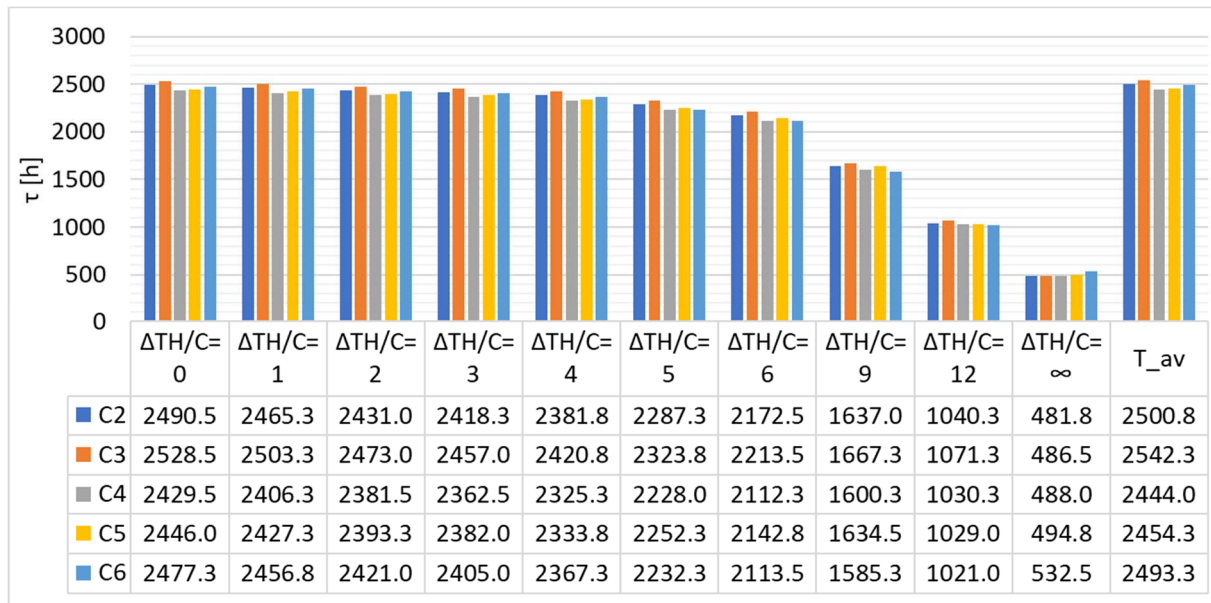
Najkrócej, bo około 18% czasu temperatura w przedziale komfortowym utrzymuje się, gdy za utrzymanie komfortowych warunków odpowiada wyłącznie system powietrzny.

Czas trwania temperatury operatywnej w powyżej 24°C (Rys. 71) jest najkrótszy w przypadku wariantu C3 (rozkład lewostronny). Przegrzanie utrzymuje się w tym wypadku przez 5,8% czasu, czyli jest krótszy o 0,5 punktów procentowych od wariantu ze stałym obciążeniem i o 0,7 punktu procentowego od wariantu z rozkładem bimodalnym.

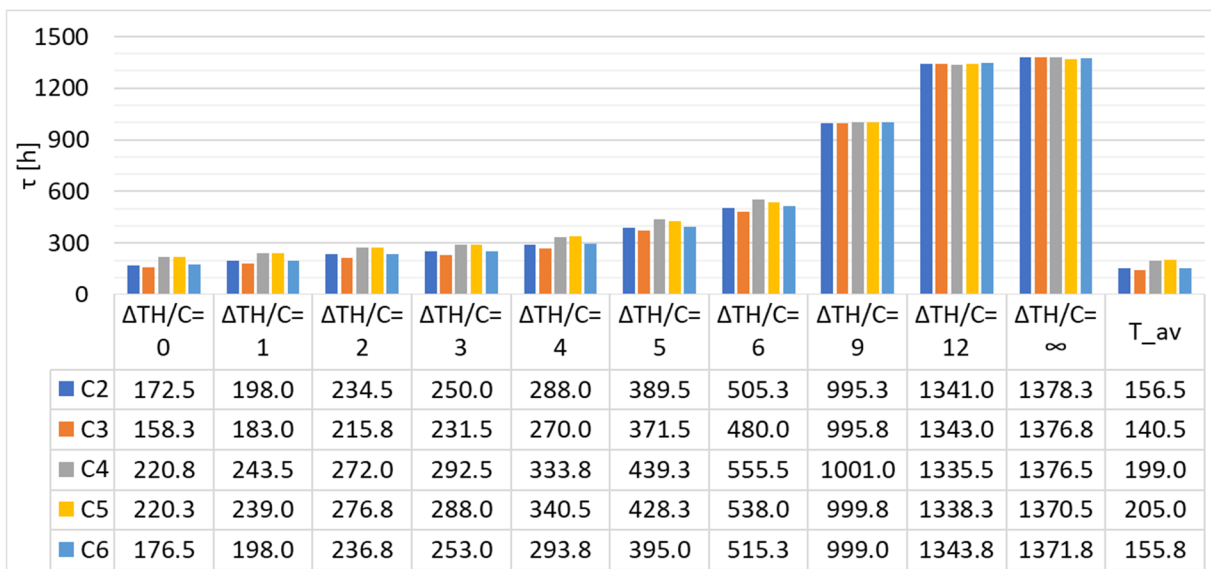
Gdy temperatura przełączenia trybu działania stropu jest uzależniona od równania uśredniającego (T_{av}) czas, w którym pomieszczenie pozostaje przegrzane jest najkrótszy we wszystkich analizowanych przypadkach rozkładu obciążeń.



Rys. 69 Czas trwania temperatury operatywnej poniżej 22°C dla wariantów C2-C6 w orientacji SW, przy wentylacji działającej wyłącznie podczas obecności osób w pomieszczeniu (B) oraz braku utrzymywania temperatury komfortowej w sąsiadujących pomieszczeniach



Rys. 70 Czas trwania temperatury operatywnej w przedziale 22°C – 24°C dla wariantów C2-C6 w orientacji SW, przy wentylacji działającej wyłącznie podczas obecności osób w pomieszczeniu (B) oraz braku utrzymywania temperatury komfortowej w sąsiadujących pomieszczeniach



Rys. 71 Czas trwania temperatury operatywnej powyżej 24°C dla wariantów C2-C6 w orientacji SW, przy wentylacji działającej wyłącznie podczas obecności osób w pomieszczeniu (B) oraz braku utrzymywania temperatury komfortowej w sąsiadujących pomieszczeniach

Tab. 5.40 przedstawia liczbę godzin trwania przedziału dopuszczalnej ($\pm 1,1K$) zmiany temperatury operatywnej dla wariantów C2 do C6 w orientacji SW, gdy temperatura otaczających pomieszczeń nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym. Najdłuższy czas, kiedy zmiany temperatury nie przekraczają dopuszczalnej wartości występuje dla wariantów różnicy temperatury przełączania trybu pracy stropu aktywowanego termicznie wynoszącej 5 i dzieje się tak przez ponad 99,9% czasu w wariantach C2-C5. W przypadku wariantu C6, najdłuższy czas z dopuszczalnym poziomem zmiany temperatury przypada przy różnicy temperatury wynoszącej 4, gdzie utrzymuje się przez 99,88% czasu.

Tab. 5.40 Liczba godzin trwania przedziału dopuszczalnej ($\pm 1,1K$) zmiany temperatury operatywnej dla wariantów C2 do C6 w orientacji SW, gdy temperatura otoczenia nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym, (100% = 2740,5 h)

	C2	C3	C4	C5	C6
$\Delta T_{H/C}=0$	2736,25	2735,75	2735,75	2736,5	2735,75
$\Delta T_{H/C}=1$	2736,75	2736,25	2736,25	2736,75	2736,25
$\Delta T_{H/C}=2$	2737	2736,75	2736,75	2737	2736,75
$\Delta T_{H/C}=3$	2737	2736,75	2736,75	2737	2736,75
$\Delta T_{H/C}=4$	2737,5	2737,25	2737,25	2738	2737,25
$\Delta T_{H/C}=5$	2738,25	2738	2738	2738,5	2704
$\Delta T_{H/C}=6$	2737,75	2736,75	2736,75	2738,25	2701,25
$\Delta T_{H/C}=9$	2715,75	2708,5	2708,5	2711,5	2676
$\Delta T_{H/C}=12$	2361,5	2349,25	2349,25	2352,75	2306,5
$\Delta T_{H/C}=\infty$	1320,25	1342,75	1342,75	1353,5	1410,25
T_{av}	2736,25	2735,75	2735,75	2736,25	2735,75

Zapotrzebowanie na energię pierwotną

Oslona bilansowa, służąca do określenia zapotrzebowania na energię pierwotną, jest zdefiniowana zgodnie z zewnętrznymi granicami pomieszczenia. Na podstawie wyników symulacji określono zapotrzebowanie na końcową energię użytkową dla różnych rozkładów obciążeń (harmonogramy C2-C6) poszczególnych systemów i trybów pracy:

- systemu TABS dla grzania i chłodzenia
- systemu wentylacji (VAV) dla grzania i chłodzenia.

Roczne zapotrzebowanie ciepła i chłodu oraz zapotrzebowanie na energię końcową (ciepło/chłód końcowy) wyznaczono według równań (4.2)-(4.5). Wyniki zestawiono w

Tab. 5.41 i

Tab. 5.42 osobno dla podsystemu stropów aktywowanych termicznie (TABS) i systemu wentylacyjnego, dla różnych rozkładów harmonogramu obciążeń wewnętrznych (C2-C6), orientacji południowo-zachodniej gdy temperatura w pomieszczeniach sąsiadujących nie jest utrzymywana. Całkowite zapotrzebowanie na energię pierwotną dla systemu HVAC z (TABS+VAV) przedstawiono na Rys. 72.

Na podstawie wyników zaprezentowanych w

Tab. 5.41 i

Tab. 5.42 oraz na Rys. 72 widoczne jest, że niezależnie od przyjętego wariantu zmienności harmonogramu obciążeń otrzymane wyniki zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną są podobne. Różnice w zapotrzebowaniu energii pomiędzy wariantami C3-C6 a C2 wynosi około 1%.

Przykładowo dla różnicy temperatur przełączenia równej 0 różnica pomiędzy wariantem C2 (249 kWh/m²a) a C6 (241 kWh/m²a) wynosi około 0,75%, a dla $\Delta T_{H/C}=6K$ różnica wynosi 0,6%.

Największe różnice w zapotrzebowaniu na energię, we wszystkich analizowanych wariantach rozkładu harmonogramu obciążeń (stały=C2, lewostronny -C3, normalny -C4, prawostronny-C5, bimodalny-C6) wynikają z wielkości różnicy pomiędzy temperaturami przełączenia $\Delta T_{H/C}$.

Przykładowo, zużycie energii dla $\Delta T_{H/C}=\infty$ mieści się w przedziale od 268 kWh/m²/rok do 279 kWh/m²/rok, podczas gdy dla $\Delta T_{H/C}=0K$ jest to około 250 kWh/m²/rok, co stanowi różnicę rzędu 10%.

Gdy wartości temperatury przełączania są wyznaczone w oparciu o równanie uśredniające otrzymane zapotrzebowanie na energię pierwotną jest zbliżone do najlepszego wariantu, a różnica wynosi od około 2% do około 4% (Tab. 5.43).

Tab. 5.41 Roczne zapotrzebowanie na ciepło i chłód oraz zapotrzebowanie na energię podsystemu TABS, dla różnych wariantów harmonogramu obciążeń (C3-C6), gdy wentylacja działa tylko podczas obecności ludzi w orientacji SW dla różnych wartości $\Delta T_{H/C}$, gdy temperatura w pomieszczeniach sąsiednich nie jest utrzymywana w przedziale 22-24°C [kWh/a]

$\Delta T_{H/C}$ [K]	Q_H_TABS_C2	Ek_H_TABS_C2	Q_C_TABS_C2	Ek_C_TABS_C2	Q_H_TABS_C3	Ek_H_TABS_C3	Q_C_TABS_C3	Ek_C_TABS_C3	Q_H_TABS_C4	Ek_H_TABS_C4	Q_C_TABS_C4	Ek_C_TABS_C4	Q_H_TABS_C5	Ek_H_TABS_C5	Q_C_TABS_C5	Ek_C_TABS_C5	Q_H_TABS_C6	Ek_H_TABS_C6	Q_C_TABS_C6	Ek_C_TABS_C6
0	1701	2093	3427	979	1701	2093	3429	980	1706	2106	3416	976	1703	2095	3424	978	1707	2100	3418	977
1	1577	1940	3235	924	1577	1940	3238	925	1582	1953	3225	921	1576	1939	3231	923	1580	1944	3225	921
2	1512	1860	3074	878	1512	1860	3076	879	1516	1872	3065	876	1512	1860	3066	876	1516	1865	3061	874
3	1467	1805	2963	847	1467	1805	2965	847	1471	1817	2955	844	1468	1807	2959	845	1472	1811	2954	844
4	1431	1761	2804	801	1431	1761	2806	802	1435	1772	2798	794	1432	1762	2797	799	1436	1767	2793	798
5	1396	1718	2586	739	1396	1718	2587	739	1401	1730	2581	737	1398	1720	2573	735	1385	1705	2570	734
6	1339	1647	2354	673	1338	1646	2355	673	1344	1659	2350	672	1342	1651	2336	668	1325	1631	2333	667
9	1038	1277	1553	444	1036	1275	1552	444	1044	1289	1552	443	1048	1289	1543	441	1028	1265	1541	440
12	675	830	685	196	676	832	684	195	677	835	685	196	682	840	674	192	663	816	673	192
∞ /AIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T_av	1594	1961	3349	957	1593	1960	3353	958	0	0	3338	954	1594	1961	3349	957	1598	1966	3343	955

Tab. 5.42 Roczne zapotrzebowanie na ciepło i chłód oraz zapotrzebowanie na energię podsystemu wentylacyjnego, dla różnych wariantów harmonogramu obciążeń (C-C63), gdy wentylacja działa tylko podczas obecności ludzi w orientacji SW dla różnych wartości $\Delta T_{H/C}$, gdy temperatura w pomieszczeniach sąsiednich nie jest utrzymywana w przedziale 22-24°C [kWh/a]

$\Delta T_{H/C}$ [K]	$Q_{H_AIR_C2}$	$Ek_{H_AIR_C2}$	$Q_{C_AIR_C2}$	$Ek_{C_AIR_C2}$	$Q_{H_AIR_C3}$	$Ek_{H_AIR_C3}$	$Q_{C_AIR_C3}$	$Ek_{C_AIR_C3}$	$Q_{H_AIR_C4}$	$Ek_{H_AIR_C4}$	$Q_{C_AIR_C4}$	$Ek_{C_AIR_C4}$	$Q_{H_AIR_C5}$	$Ek_{H_AIR_C5}$	$Q_{C_AIR_C5}$	$Ek_{C_AIR_C5}$	$Q_{H_AIR_C6}$	$Ek_{H_AIR_C6}$	$Q_{C_AIR_C6}$	$Ek_{C_AIR_C6}$
0	102	126	10618	3658	60	73	10558	3637	127	156	10739	3700	96	119	10634	3663	126	156	10726	3695
1	100	123	10772	3711	60	74	10715	3691	123	151	10889	3751	95	116	10785	3716	123	151	10874	3746
2	91	112	10967	3778	55	67	10917	3761	114	140	11077	3816	86	106	10993	3787	113	140	11079	3817
3	87	107	11038	3802	51	63	10990	3786	110	135	11143	3839	82	100	11055	3808	109	134	11140	3838
4	77	95	11295	3891	42	52	11253	3877	98	121	11390	3924	72	88	11321	3900	97	120	11403	3928
5	69	85	11777	4057	37	46	11741	4045	89	110	11864	4087	64	79	11830	4076	90	110	11920	4107
6	74	91	12164	4191	44	54	12131	4179	94	115	12251	4220	69	85	12249	4220	93	115	12321	4245
9	179	220	13341	4596	127	157	13289	4578	0	0	13460	4637	170	209	13448	4633	0	0	13517	4657
12	656	807	15501	5340	576	708	15455	5324	744	915	15630	5385	669	823	15652	5392	650	800	15790	5440
∞/AIR	111	137	10408	3586	67	83	10343	3563	137	169	10536	3630	106	131	10411	3587	138	169	10503	3618
T_{av}	3446	4240	18219	6276	3379	4157	18204	6272	3532	4345	18278	6297	3487	4290	18255	6289	2644	3253	18343	6319



Rys. 72 Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną (E_p) w zależności od różnicy temperatury przełączania trybu pracy stropu aktywowanego termicznie ($\Delta T_{H/C}$) oraz różnych rozkładów harmonogramu obciążeń cieplnych (warianty C2-C6) w orientacji SW, przy założeniu braku utrzymywania temperatury komfortowej w pomieszczeniach sąsiednich

Tab. 5.43 Porównanie zapotrzebowania systemu HVAC z (TABS+VAV) na energię pierwotną dla różnych wariantów harmonogramu obciążeń, pomiędzy najlepszymi wartościami $\Delta T_{H/C}$ a wariantem T_{av}

	Najlepsze $\Delta T_{H/C}$	Zużycie energii dla najlepszego $\Delta T_{H/C}$	Zużycie energii T_{av}	Różnica	Różnica procentowa
		[kWh/m ² /rok]			
C2	$\Delta T_{H/C}=9K$	235,0	240,9	5,99	2,55%
C3	$\Delta T_{H/C}=9K$	233,6	239,5	6,00	2,57%
C4	$\Delta T_{H/C}=9K$	234,4	243,0	8,66	3,69%
C5	$\Delta T_{H/C}=9K$	236,5	240,9	4,39	1,86%
C6	$\Delta T_{H/C}=9K$	234,2	242,6	8,39	3,58%

5.7. Wybór wariantu optymalnego

Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną (E_p) oraz procentowy czas utrzymania komfortu temperaturowego ($Top \in [22, 24]$) dla różnych wariantów systemu wentylacyjnego (NE i SW) oraz wartości $\Delta T_{H/C}$, z uwzględnieniem współczynnika korelacji Pearsona przedstawiono w Tab. 5.44. Tabela zawiera dane dla wariantów wentylacyjnych A (wentylacja w godz. 8:00-20:15) i B (wentylacja tylko podczas obecności ludzi) oraz dla różnych warunków temperaturowych w pomieszczeniach sąsiednich (0-brak kontroli temperatury, 1-temperatura w przedziale 22-24°C).

Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla różnych wariantów zmienia się wraz ze zmianą $\Delta T_{H/C}$. Zauważalna jest tendencja spadku E_p przy wzroście $\Delta T_{H/C}$ do pewnego momentu, a następnie wzrost E_p przy dalszym wzroście $\Delta T_{H/C}$. Procentowy czas utrzymania komfortu temperaturowego zmniejsza się wraz ze wzrostem $\Delta T_{H/C}$.

Ujemne wartości współczynnika korelacji Pearsona wskazują na odwrotną zależność między E_p a czasem utrzymania komfortu temperaturowego. Wartości te są dość wysokie i wskazują na negatywną korelację.

Aby wyznaczyć warianty dopuszczalne, przyjęto kryterium minimalnego zapotrzebowania na energię pierwotną (E_p) przy jednoczesnym utrzymaniu komfortu temperaturowego ($Top \in [22, 24]$) przez co najmniej 85% ogólnego czasu obciążenia pomieszczenia (minimum 2329,4h z 2740,5h).

W Tab. 5.45 zebrano rozwiązania dopuszczalne, czyli te które spełniają przyjęte kryteria.

Analiza obejmowała różne scenariusze pracy systemu wentylacyjnego dla pomieszczeń o orientacji NE oraz SW, uwzględniając różne wartości $\Delta T_{H/C}$ oraz tryby wentylacji:

- **Warianty A:** Wentylacja działająca w godzinach 8:00 - 20:15;
- **Warianty B:** Wentylacja działająca tylko podczas obecności ludzi;
- **0:** Brak kontroli temperatury w pomieszczeniach sąsiednich;
- **1:** Temperatura w pomieszczeniach sąsiednich utrzymywana w przedziale 22-24°C;

W tabeli przedstawiono wartości zapotrzebowania na energię pierwotną oraz procentowy czas utrzymania komfortu temperaturowego dla każdego z analizowanych wariantów, a wartości, które nie spełniają przyjętych kryteriów, zostały oznaczone jako „-”.

Warianty dopuszczalne wykazują minimalne zużycie energii przy jednoczesnym utrzymaniu komfortu przez wymagany procent czasu – 85%.

Tab. 5.44 Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną (E_p) oraz procentowy czas utrzymania komfortu temperaturowego ($Top \in [22, 24]$) dla różnych wariantów systemu wentylacyjnego (NE i SW) i wartości $\Delta T_{H/C}$, z uwzględnieniem współczynnika korelacji Pearsona. Zbiór wszystkich rozwiązań.

Warianty: A - wentylacja w godz. 8:00 - 20:15, B - wentylacja tylko podczas obecności ludzi, 0 - brak kontroli temperatury w pomieszczeniach sąsiednich, 1 - temperatura w pomieszczeniach sąsiednich utrzymywana w przedziale 22-24°C

	VAV_NE_A_1_C2		VAV_NE_A_0_C2		VAV_NE_B_1_C2		VAV_NE_B_0_C2		VAV_SW_A_1_C2		VAV_SW_A_0_C2		VAV_SW_B_1_C2		VAV_SW_B_0_C2	
	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	V Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$
$\Delta T_{H/C}=0$	230	92%	248	94%	230	92%	248	94%	231	89%	249	91%	231	89%	249	91%
$\Delta T_{H/C}=1$	225	91%	242	93%	225	91%	242	93%	226	87%	243	90%	227	87%	243	90%
$\Delta T_{H/C}=2$	224	89%	240	93%	224	89%	240	93%	225	85%	241	89%	226	85%	241	89%
$\Delta T_{H/C}=3$	224	88%	237	92%	224	88%	237	92%	225	84%	239	88%	225	84%	239	88%
$\Delta T_{H/C}=4$	226	85%	237	91%	226	85%	237	91%	227	81%	239	87%	227	81%	239	87%
$\Delta T_{H/C}=5$	230	80%	239	88%	230	80%	239	88%	232	76%	241	83%	232	76%	241	83%
$\Delta T_{H/C}=6$	234	74%	238	84%	234	74%	238	84%	236	71%	241	79%	236	71%	241	79%
$\Delta T_{H/C}=9$	244	57%	231	63%	244	57%	231	62%	246	55%	235	60%	246	55%	235	60%
$\Delta T_{H/C}=12$	254	45%	238	40%	253	45%	236	40%	258	44%	245	39%	257	44%	243	38%
$\Delta T_{H/C}=\infty$	247	42%	272	19%	246	42%	268	18%	250	41%	281	18%	249	41%	277	18%
T_{av}	262	54%	286	56%	263	54%	286	56%	224	89%	241	91%	224	89%	241	91%
Współczynnik korelacji Pearsona	-0.907		-0.53		-0.88		-0.48		-0.96		-0.71		-0.96		-0.62	

Tab. 5.45 Warianty systemu wentylacyjnego spełniające kryteria minimalnego zapotrzebowania na energię pierwotną (E_p) i utrzymania komfortu temperaturowego ($Top \in [22, 24]$) przez co najmniej 85% czasu. Zbiór rozwiązań dopuszczalnych

	VAV_NE_A_1_C2		VAV_NE_A_0_C2		VAV_NE_B_1_C2		VAV_NE_B_0_C2		VAV_SW_A_1_C2		VAV_SW_A_0_C2		VAV_SW_B_1_C2		VAV_SW_B_0_C2	
	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	V Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$
$\Delta T_{H/C}=0$	230	92%	248	94%	230	92%	248	94%	231	89%	249	91%	231	89%	249	91%
$\Delta T_{H/C}=1$	225	91%	242	93%	225	91%	242	93%	226	87%	243	90%	227	87%	243	90%
$\Delta T_{H/C}=2$	224	89%	240	93%	224	89%	240	93%	225	85%	241	89%	226	85%	241	89%
$\Delta T_{H/C}=3$	244	88%	237	92%	224	88%	237	92%	-	-	239	88%	-	-	239	88%
$\Delta T_{H/C}=4$	226	85%	237	91%	226	85%	237	91%	-	-	239	87%	-	-	239	87%
$\Delta T_{H/C}=5$	-	-	239	88%	-	-	239	88%	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta T_{H/C}=6$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta T_{H/C}=9$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta T_{H/C}=12$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta T_{H/C}=\infty$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T_av	-	-	-	-	-	-	-	-	224	89%	241	91%	224	89%	241	91%

Minimalnym zapotrzebowaniem na energię pierwotną oraz wysokim procentowym czasem utrzymania komfortu temperaturowego wspólnym dla wszystkich analizowanych scenariuszy o stałym harmonogramie obciążeń jest wariant $\Delta T_{H/C}=2K$.

Przyczyny, dla których warianty $\Delta T_{H/C}=0K$, $\Delta T_{H/C}=1K$, $\Delta T_{H/C}=3K$, $\Delta T_{H/C}=4K$, $\Delta T_{H/C}=5K$ oraz T_av nie zostały uznane za optymalne:

- $\Delta T_{H/C}=0K$:

Wariant ten cechuje się najwyższym komfortem, przy zapotrzebowaniu na energię pierwotną wyższym o około 3% w stosunku do wariantu $\Delta T_{H/C}=2$.

- $\Delta T_{H/C}=1K$:

Wariant ten cechuje się nieznacznie niższym komfortem niż wariant $\Delta T_{H/C}=0$, przy zapotrzebowaniu na energię pierwotną o 3% wyższym niż w wariantcie $\Delta T_{H/C}=2$.

- $\Delta T_{H/C}=3K$,

W części przypadków zapotrzebowanie na energię pierwotną jest niższe niż w wariantcie $\Delta T_{H/C}=2$ lub równe, przy jednoczesnym obniżeniu się poziomu komfortu o około 1 punkt procentowy.

- $\Delta T_{H/C}=4K$, $\Delta T_{H/C}=5K$, T_av

Zapotrzebowanie na energię pierwotną w większości przypadków pozostaje takie samo jak w $\Delta T_{H/C}=3K$, jednak następuje dalsze obniżenie się poziomu komfortu.

Warianty $\Delta T_{H/C}=0K$, $\Delta T_{H/C}=1K$, $\Delta T_{H/C}=3K$, $\Delta T_{H/C}=4K$, $\Delta T_{H/C}=5K$ oraz T_av nie spełniają kryteriów ze względu na ich wyższe zapotrzebowanie na energię pierwotną oraz niższy procentowy czas utrzymania komfortu temperaturowego w porównaniu do $\Delta T_{H/C}=2K$.

Przeprowadzona analiza wrażliwości zastosowanego podejścia na zmienne obciążenia wewnętrzne występujące w pomieszczeniu wykazała, że na zapotrzebowanie na energię pierwotną dominujący wpływ ma wartość różnicy

temperatury przełączenia, a nie zmienność obciążeń. Podobny wniosek można wyciągnąć dla analizy warunków komfortu w pomieszczeniu.

Ujemne wartości współczynnika korelacji Pearsona wskazują na odwrotną zależność między E_p , a czasem utrzymania komfortu temperaturowego. We wszystkich wariantach (C3, C4, C5, C6) wartość zapotrzebowania na energię pierwotną maleje wraz ze wzrostem wartości różnicy temperatury przełączenia $\Delta T_{H/C}$ od 0K, aż wartości 3K lub 4K (w zależności od przypadku). Dla tych wartości $\Delta T_{H/C}$ czas utrzymywania się temperatury w przedziale komfortowym jest najdłuższy.

Dla wyższych wartości $\Delta T_{H/C}$, następuje wzrost zapotrzebowania energii pierwotnej, przy jednoczesnym spadku komfortu. Najwyższa wartość zapotrzebowania na energię występuje zawsze dla $\Delta T_{H/C}=\infty$, w którym system TABS nie pracuje, a komfort jest utrzymywany tylko przez 18-19% czasu.

Wartości zapotrzebowania na energię pierwotną oraz procentowy czas utrzymania komfortu temperaturowego dla każdego z analizowanych wariantów zmiennego obciążenia przedstawiono w Tab. 5.46. Warianty dopuszczalne wykazują minimalne zużycie energii przy jednoczesnym utrzymaniu komfortu przez wymagany procent czasu (85%). Rozwiązania, które spełniają kryteria minimalnego zapotrzebowania na energię pierwotną (E_p) i utrzymania komfortu temperaturowego przedstawiono w Tab. 5.47. Wartości, które nie spełniają przyjętych kryteriów, zostały oznaczone jako „-”.

Tab. 5.46 Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną (E_p) oraz procentowy czas utrzymania komfortu temperaturowego ($Top \in [22, 24]$) dla różnych wariantów rozkładu harmonogramu obciążeń z uwzględnieniem współczynnika korelacji Pearsona. Wentylacja tylko podczas obecności ludzi, brak kontroli temperatury w pomieszczeniach sąsiednich

	VAV_SW_B_0_C3		VAV_SW_B_0_C4		VAV_SW_B_0_C5		VAV_SW_B_0_C6	
	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	V Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$
$\Delta T_{H/C}=0$	248	92%	251	89%	249	89%	251	90%
$\Delta T_{H/C}=1$	242	91%	245	88%	243	89%	245	90%
$\Delta T_{H/C}=2$	240	90%	243	87%	241	87%	243	88%
$\Delta T_{H/C}=3$	238	90%	241	86%	239	87%	241	88%
$\Delta T_{H/C}=4$	238	88%	240	85%	239	85%	240	86%
$\Delta T_{H/C}=5$	240	85%	242	81%	241	82%	242	81%
$\Delta T_{H/C}=6$	240	81%	242	77%	242	78%	242	77%
$\Delta T_{H/C}=9$	234	61%	234	58%	237	60%	234	58%
$\Delta T_{H/C}=12$	242	39%	246	38%	246	38%	246	37%
$\Delta T_{H/C}=\infty$	276	18%	279	18%	278	18%	268	19%
T_{av}	240	93%	243	89%	241	90%	243	91%
Współczynnik korelacji Pearsona	-0.67		-0,66		-0.72		-0,59	

Tab. 5.47 Warianty systemu wentylacyjnego spełniające kryteria minimalnego zapotrzebowania na energię pierwotną (E_p) i utrzymania komfortu temperaturowego ($Top \in [22, 24]$) przez co najmniej 85% czasu. Zbiór rozwiązań dopuszczalnych, dla różnych wariantów harmonogramu obciążeń

VAV_SW_B_0_C3	VAV_SW_B_0_C4	VAV_SW_B_0_C5	VAV_SW_B_0_C6
---------------	---------------	---------------	---------------

	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	V Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$	$E_p \left[\frac{kWh}{(m^2 \cdot a)} \right]$	Top $\in [22, 24]$
$\Delta T_{H/C}=0$	248	92%	251	89%	249	89%	251	90%
$\Delta T_{H/C}=1$	242	91%	245	88%	243	89%	245	90%
$\Delta T_{H/C}=2$	240	90%	243	87%	241	87%	243	88%
$\Delta T_{H/C}=3$	238	90%	241	86%	239	87%	241	88%
$\Delta T_{H/C}=4$	238	88%	251	85%	239	85%	240	86%
$\Delta T_{H/C}=5$	248	85%	-	-	-	-	-	-
$\Delta T_{H/C}=6$	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta T_{H/C}=9$	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta T_{H/C}=12$	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Delta T_{H/C}=\infty$	-	-	-	-	-	-	-	-
T_{av}	240	93%	243	89%	241	90%	243	91%

Dla wszystkich przypadków ze zmiennym harmonogramem obciążeń, wariant T_{av} spełnia kryteria minimalnego dopuszczalnego komfortu. Przy niskim zapotrzebowaniu energii pierwotnej cechuje się wysokim procentowym czasem utrzymania komfortu (89% do 93% całkowitego czasu obciążenia pomieszczenia). Zapotrzebowanie na energię dla temperatury przełączenia wyznaczonej w oparciu o równanie uśredniające jest o około 3,5% niższe niż wartość dla wariantu z najwyższym wynikiem w zbiorze wariantów dopuszczalnych przy jednocześnie takim samym lub wyższym czasie utrzymania temperatury w przedziale komfortowym.

Systemy są najbardziej efektywne przy $\Delta T_{H/C}$ wynoszącym 3K lub 4K. Zapotrzebowanie na energię jest w tych przypadkach niższe o około 3,4% niż wartość dla wariantu z najwyższym wynikiem w zbiorze wariantów dopuszczalnych przy nieznacznie krótszym czasie utrzymania temperatury w przedziale komfortowym. W zależności od przypadku czasu utrzymywania się komfortu jest krótszy od około 2,4 punktów procentowych (harmonogram C4) do 4,1 punktów procentowych (harmonogram C5).

Przy wyższych wartościach $\Delta T_{H/C}$ zapotrzebowanie na energię pierwotną gwałtownie wzrasta, a komfort spada co wyklucza stosowanie tych wartości.

W przypadku wariantów ze zmiennym profilem obciążeń (C3-C6), optymalnym podejściem jest zastosowanie równania uśredniającego do wyznaczenia temperatury przełączenia, gdyż pozwala ono na znaczną redukcję zużycia energii przy jednoczesnym zachowaniu wysokiego komfortu cieplnego.

Wariant $\Delta T_{H/C}=2K$ jest najbardziej zrównoważony pod względem efektywności energetycznej i komfortu użytkowników, dla scenariusza z stałymi obciążeniami. Także dla zmiennego harmonogramu obciążeń wynik zapotrzebowania energii pierwotnej (E_p) oraz utrzymania komfortu temperaturowego mieści się w zbiorze dopuszczalnych rozwiązań. Jednak nie można go uznać za rozwiązanie optymalne i uniwersalne dla całego budynku. Podobnie jak nie można uznać, że wariant, dla którego temperatura przełączenia jest wyznaczana w oparciu o równanie uśredniające jest jednoznacznie rozwiązaniem optymalnym.

Analiza wykonana dla harmonogramu ze stałym obciążeniem w ciągu dnia wykazała, że w przypadku orientacji południowo-zachodniej, dla wariantu T_{av} otrzymuje się niższe zapotrzebowanie na energię pierwotną i dłuższy czas utrzymywania się komfortowych warunków w pomieszczeniu niż w przypadku, $\Delta T_{H/C}=2$, ale dla orientacji północno-wschodniej takie podejście do wyznaczenia temperatury zmiany trybu pracy stropu nie mieści się w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych.

Chociaż wariant T_{av} może wykazywać przewagę w określonych scenariuszach, takich jak orientacja południowo-zachodnia, jego skuteczność nie jest uniwersalna, a zatem nie zawsze będzie najlepszym wyborem. Z drugiej strony wariant $\Delta T_{H/C}=2$ mieści się w zbiorze dopuszczalnych rozwiązań dla każdego z przeanalizowanych przypadków. Może stanowić rozwiązanie uniwersalne, pozwalające na utrzymanie wysokiego komfortu przy dość niskim zapotrzebowaniu na energię (o 3% niższym niż w wariantcie z najwyższym zapotrzebowaniem E_p).

W przypadku orientacji południowo-zachodniej, dla wariantu T_{av} (temperatura przełączenia trybu pracy stropu wyznaczona w oparciu o równanie uśredniające) otrzymuje się nieznacznie niższe (różnica nie przekracza 1%) zapotrzebowanie na energię pierwotną i dłuższy o około 3 punkty procentowe czas utrzymywania się komfortowych warunków w pomieszczeniu niż w przypadku $\Delta T_{H/C}=2K$, ale dla orientacji północno-wschodniej takie podejście do wyznaczenia temperatury zmiany trybu pracy stropu nie mieści się w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych.

W praktyce projektowej i eksploatacyjnej konieczne jest indywidualne dopasowanie strategii sterowania do specyficznych wymagań budynku oraz jego użytkowników. Może ono wymagać zastosowania różnych podejść w różnych strefach budynku, aby osiągnąć optymalny stosunek efektywności energetycznej i komfortu użytkowników.

6. Podsumowanie

6.1. Synteza wyników i wniosków

Budynki edukacyjne pełnią istotną rolę w życiu dzieci i młodzieży, które spędzają w nich znaczną część czasu w okresie nauki. W związku z tym warunki komfortu cieplnego i jakości powietrza w tych budynkach powinny zapewniać zdrowe, przyjazne i stymulujące do kreatywnej pracy środowisko. Systemy HVAC odgrywają kluczową rolę w utrzymaniu odpowiedniego poziomu jakości powietrza i komfortu cieplnego, co jest istotne dla zdrowia uczniów oraz ich zdolności do koncentracji i nauki.

Jednocześnie, aktualne trendy i wymagania formalne w budownictwie implikują potrzebę projektowania budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię. Jedną z opcji - w odniesieniu do budynków edukacyjnych, są tutaj rozwiązania systemów HVAC oparte na stropach aktywowanych termicznie (TABS). Systemy te umożliwiają współpracę z odnawialnymi źródłami energii i pośrednio uzyskanie niskich nakładów energetycznych na eksploatację systemów HVAC. Istotnym problemem eksploatacyjnym dla systemów HVAC z TABS jest sterowanie tymi systemami, ze względu na dużą bezwładność stropów aktywowanych termicznie. Prowadzi to do okresowego przekroczenia komfortowej temperatury w pomieszczeniach - głównie przegrzania tych pomieszczeń.

Należy tutaj podkreślić, iż dotychczasowe badania i doświadczenia eksploatacyjne dotyczyły przypadków systemów HVAC z (TABS +DCV), a zatem systemów, w których wentylacja pełni funkcję wyłącznie higieniczną oraz z wentylacją naturalną. Szeroką dyskusję w tym zakresie przeprowadzono w części studialnej - analizie literaturowej rozprawy. Jednocześnie wykazano - na podstawie badań ankietowych przeprowadzonych w wybranych pomieszczeniach budynku Politechniki Poznańskiej (Budynek Wydziału Architektury i Inżynierii Zarządzania), w którym funkcjonuje system stropów aktywowanych termicznie (HVAC z (TABS+DCV)) potrzebę poprawy komfortu termicznego i parametrów jakości powietrza salach dydaktycznych. Ankietowani deklaruwali, że oczekiwaliby niższej temperatury (około 28% respondentów) oraz intensywniejszej wentylacji (około 30% respondentów). Pomiarzy temperatury potwierdziły, że temperatura komfortowa była przekraczana. W przypadku orientacji południowo-zachodniej czas, gdy wynosiła ponad 25°C wynosił około 21% ogólnego czasu, kiedy w pomieszczeniu przebywali ludzie.

Problemem badawczym podjętym w rozprawie było sformułowanie i rozwiązanie zagadnienia współpracy TABS i wentylacji do odprowadzenia obciążeń termicznych w systemach HVAC w budynkach o dużych i dynamicznie zmieniających się obciążeniach chłodniczych, zwłaszcza w budynkach edukacyjnych.

Celem naukowym rozprawy było opracowanie metody wyznaczania algorytmów sterowania systemem HVAC z TABS opartych na krzywych grzania i chłodzenia oraz wykorzystaniu powietrza wentylacyjnego do odprowadzenia części obciążeń termicznych dla pomieszczeń o dynamicznie zmieniających się w czasie wewnętrznych obciążeniach chłodniczych - założono przy tym, utrzymanie parametrów komfortu cieplnego w wymaganych przedziałach, przy minimalnych nakładach energetycznych.

Celem użytkowym rozprawy było wyznaczenie optymalnych energetycznie krzywych grzania i chłodzenia dla systemu HVAC z TABS i wentylacji w opcji DCV lub VAV, w istniejącym budynku o dużych i dynamicznie zmieniających się wewnętrznych obciążeniach chłodniczych - na przykładzie pomieszczenia w istniejącym budynku edukacyjnym. Założoną funkcją użytkową stanowiącą jednocześnie warunki ograniczające był dopuszczalny przedział temperatury operatywnej w pomieszczeniu (definiujący komfort

cieplny), natomiast funkcją celu - minimum zapotrzebowania na energię pierwotną do odprowadzenia obciążeń termicznych w pomieszczeniu.

Zastosowane w rozprawie narzędzia badawcze obejmowały:

- modele symulacyjny z wykorzystaniem narzędzia TRNSYS17 dla całorocznych symulacji działania systemów HVAC z (TABS +DCV) lub HVAC z (TABS +VAV),
- badania ankietowe wykonane w istniejącym budynku edukacyjnym w celu identyfikacji i uzasadnienia podjęcia problemu badawczego,
- rejestrację i analizę danych empirycznych, z BMS (Building Management System) oraz dedykowanego systemu pomiarowego opartego na czujnikach NEMo XT Mini (Ethera, Francja) w istniejącym budynku edukacyjnym z systemem HVAC z TABS+DCV, które następnie wykorzystano do weryfikacji algorytmów modeli symulacyjnych

W rozprawie postawiono dwie tezy.

- TEZA 1 zakładała, iż systemy TABS z wentylacją mechaniczną sterowaną w funkcji higienicznej i odprowadzania części obciążeń termicznych umożliwiają - dla budynków o dynamicznie zmieniających się wewnętrznych obciążeniach chłodniczych, stanowiących duży udział w bilansie obciążeń termicznych - uzyskanie mniejszych (węższych) przedziałów zmienności parametrów komfortu cieplnego, w stosunku do sterowania wentylacją mechaniczną tylko w funkcji higienicznej – w konsekwencji zapewniają lepszy komfort cieplny

Wyniki przeprowadzonych symulacji potwierdziły tę tezę.

Wykazano, że w przypadku, gdy wentylacja była sterowana w funkcji higienicznej (DCV), temperatura wewnętrzna w pomieszczeniach często - najkrócej 85%, najdłużej 97% całkowitego czasu, gdy w pomieszczeniu przebywali ludzie - przekraczała górną granicę przedziału temperatury komfortowej (przegrzanie pomieszczenia). Czas, kiedy utrzymywana była temperatura komfortowa w przypadku systemu HVAC z (TABS+DCV) nie przekraczał kilkunastu procent (około 14%) całkowitego okresu, kiedy w pomieszczeniu znajdowali się ludzie. Wynikowo zatem - w przypadku systemu HVAC z (TABS+DCV) w żadnym z rozważanych scenariuszy nie otrzymano zadowalającej długości czasu, gdy temperatura w pomieszczeniu utrzymywała się w przedziale komfortowym.

W związku z powyższym wykazano, na podstawie wyników badań symulacyjnych, iż system HVAC z (TABS+DCV) nie mieści się w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych.

Wykazano również, iż w przypadku systemu HVAC z (TABS+VAV), gdy wentylacja wykorzystana była dla funkcji higienicznej i częściowego odprowadzenia obciążeń termicznych.

Czas, kiedy temperatura znajduje się w przedziale komfortowym wydłużył się do nawet 2584,3h co stanowi 94% całkowitego czasu obciążenia pomieszczenia dla orientacji NE i 2490,5h co stanowi około 91% całkowitego czasu obciążenia pomieszczenia dla orientacji południowo-zachodniej.

Również wahania temperatury (zmiany temperatury przekraczające $\pm 1,1K$) w pomieszczeniach, zostały zredukowane w stopniu znaczącym. W najbardziej korzystnych wariantach, sterowania gwałtowne wzrosty wyeliminowano całkowicie, a spadki temperatury, ograniczono do pojedynczych godzin.

Przeprowadzone badania symulacyjne potwierdziły, że systemy HVAC z (TABS+VAV), pozwalają na uzyskanie bardziej stabilnych warunków komfortu cieplnego w budynkach o dynamicznie zmieniających

się obciążeniach wewnętrznych- uzyskanie mniejszych (węższych) przedziałów zmienności parametrów komfortu cieplnego (temperatury operatywnej), w stosunku do systemu HVAC z (TABS+DCV).

Należy tutaj nadmienić, iż zapotrzebowanie na energię pierwotną do odprowadzenia obciążeń termicznych w pomieszczeniu dla systemu HVAC z (TABS+DCV) jest mniejsze od tego zapotrzebowania dla systemu HVAC z (TABS+VAV), jednak z uwagi na brak utrzymania temperatury operatywnej w wymaganym przedziale komfortu, system HVAC z (TABS+DCV) nie mieści się w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych.

- TEZA 2 zakładała, iż dla systemów HVAC z TABS oraz wentylacją mechaniczną odprowadzającą część obciążeń termicznych można wyznaczyć energoptymalne algorytmy sterowania, w tym takie krzywe grzania i chłodzenia, dla których roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla odprowadzenia obciążeń termicznych jest minimalne

Wyniki przeprowadzonych symulacji potwierdziły również tę tezę, chociaż różnice są nie są tutaj spektakularne.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, iż dla sterowania optymalnego (optymalnej pary krzywych grzania i chłodzenia) zapotrzebowanie na energię pierwotną do odprowadzenia obciążeń termicznych (funkcja celu) jest mniejsze o 3÷5% w stosunku do pozostałych sterowań dopuszczalnych, w zależności od przyjętego wariantu przełączenia trybu pracy stropu aktywowanego termicznie.

Wyniki symulacji wykazały dodatkowo, iż wariant $\Delta T_{H/C}=2K$ mieści się w zbiorze dopuszczalnych rozwiązań dla każdego z przeanalizowanych przypadków – może zatem stanowić rozwiązanie uniwersalne, pozwalające na utrzymanie wysokiego komfortu przy dość niskim zapotrzebowaniu na energię (o 3% niższym niż w wariantcie z najwyższym zapotrzebowaniem E_p).

Ważnym, zwłaszcza aplikacyjnie wnioskiem z badań symulacyjnych jest stwierdzenie, że nie istnieje jedno optymalne sterowanie (para krzywych grzania i chłodzenia) odpowiednie dla całego budynku, ale opracowana metoda pozwala na wyznaczenie sterowań optymalnych indywidualnie dla poszczególnych stref budynku.

Istotnym oryginalnym osiągnięciem rozprawy jest opracowanie metody sterowania systemem HVAC z TABS, będącej rozwinięciem metody sterowania UBB (*Unknown-But-Bounded* – nieznanym, ale ograniczonym [profil obciążeń]), która pozwala na wyznaczenie zbioru dopuszczalnych krzywych grzania i chłodzenia dla TABS w procedurze optymalizacyjnej bezpośredniego wyszukiwania optymalnej energetycznie pary krzywych grzania i chłodzenia.

6.2. Implikacje inżynierskie

Wyniki przeprowadzonych badań mają istotne znaczenie dla projektantów systemów HVAC w budynkach edukacyjnych wyposażonych w system przegród aktywowanych termicznie, ponieważ:

1. Opracowany algorytm umożliwia kontrolowanie temperatury wewnętrznej w pomieszczeniach, z uwzględnieniem zmiennego obciążenia termicznego;
2. Systemy HVAC mogą efektywniej reagować na zmieniające się warunki, co przekłada się na lepszy komfort cieplny i niższe zużycie energii;
3. Pomimo, iż badania koncentrowały się na budynkach edukacyjnych, opracowana metoda sterowania może być z powodzeniem zastosowana w innych typach budynków, w których obciążenia termiczne gwałtownie się zmieniają.

6.3. Propozycje dalszych prac

Przeprowadzone badania pozwoliły na wskazanie kierunków dalszych prac, które mogą obejmować:

1. Przetestowanie opracowanego algorytmu sterowania dla rzeczywistych warunków eksploatacyjnych w budynkach edukacyjnych. Aktualna baza danych empirycznych była ograniczona ze względu na absencję i brak wykorzystania budynku w okresie pandemii koronawirusa.
2. Wykonanie obliczeń na podstawie opracowanych algorytmów dla wartości $\Delta T_{H/C}$ założonych asymetrycznie względem temperatury średniej oraz względem temperatury przełączenia trybu pracy wyznaczonych w oparciu o równanie uśredniające. (w prezentowanej aplikacji założono rozkład symetryczny).
3. Przeprowadzenie analizy ekonomicznej dla aplikacji opartych na opracowanej metodzie sterowania, z uwzględnieniem zarówno kosztów operacyjnych, jak i inwestycyjnych.

Literatura

- [1] American Society of Heating, R. and A.-C.E. and American Society of Heating, R. and A.-C.E. 2020. *ANSI/ASHRAE Addendum d to ANSI/ASHRAE Standard 55-2017*.
- [2] Arteconi, A. et al. 2014. Analysis of control strategies for thermally activated building systems under demand side management mechanisms. *Energy and Buildings*. 80, (Sep. 2014), 384–393. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.053>.
- [3] Asanati, K. et al. 2021. Healthier schools during the COVID-19 pandemic: ventilation, testing and vaccination. *Journal of the Royal Society of Medicine*. 114, 4 (Feb. 2021), 160–163. DOI:<https://doi.org/10.1177/0141076821992449>.
- [4] Basińska, M. et al. 2019. Impact of physical and microbiological parameters on proper indoor air quality in nursery. *Environment International*. 132, March (Nov. 2019), 105098. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105098>.
- [5] Behrendt, B. and Christensen, J. 2013. Climate classification for the simulation of thermally activated building systems (tabs). *Proceedings of BS 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association*. (2013), 3614–3621.
- [6] Bergia Boccardo, L. et al. 2019. Economic comparison of TABS, PCM ceiling panels and all-air systems for cooling offices. *Energy and Buildings*. 205, (2019), 109527. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109527>.
- [7] Betty Lala, Srikant Manas Kala, Anmol Rastogi, Kunal Dahiya, Hirozumi Yamaguchi, A.H. Building Matters: Spatial Variability in Machine Learning Based Thermal Comfort Prediction in Winters. 2022 *IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*.
- [8] Burrige, H.C. et al. 2021. The ventilation of buildings and other mitigating measures for COVID-19: a focus on wintertime. *Proceedings of the Royal Society A*. 477, 2247 (Mar. 2021). DOI:<https://doi.org/10.1098/RSPA.2020.0855>.
- [9] Chandrashekar, R. and Kumar, B. 2022. Experimental investigation on energy saving potential for thermally activated buildings integrated with the active cooling system. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. 44, 3 (2022), 7585–7597. DOI:<https://doi.org/10.1080/15567036.2022.2116132>.
- [10] Chung, W.J. and Lim, J.-H. 2019. Cooling operation guidelines of thermally activated building system considering the condensation risk in hot and humid climate. *Energy & Buildings*. 193, (2019), 226–239. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.049>.
- [11] Chung, W.J. and Lim, J.H. 2018. Improved Thermally Activated Building System Design Method Considering Integration of Air Systems. *Advances in Civil Engineering*. 2018, (2018). DOI:<https://doi.org/10.1155/2018/4928746>.
- [12] Dec, E. et al. 2018. Analysis of temperature, air humidity and wind conditions for the needs of outdoor thermal comfort. *E3S Web of Conferences*. 44, (2018), 1–9. DOI:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400028>.
- [13] Dharmasastha, K. et al. 2020. Experimental investigation of thermally activated glass fibre reinforced gypsum roof. *Energy and Buildings*. 228, (Dec. 2020), 110424. DOI:<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2020.110424>.
- [14] Dz.U. 2015 poz. 376 2008. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dn. 6 listopada 2008 r. w

- sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. *Rozporządzenie Ministra Edukacji*. 170 (2008), 1–73.
- [15] Dz.U. 2022 poz. 1225. Obwieszczenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [16] Dz.U. 2023 poz. 697 2021. *Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 28 marca 2023 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej*.
- [17] Europejski, P. and Unii, I.R. 2018. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 201031UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 201227UE. *Official Journal of the European Union*. 844, (2018), 75–91.
- [18] Fabozzi, M. and Dama, A. 2020. Field study on thermal comfort in naturally ventilated and air-conditioned university classrooms. *Indoor and Built Environment*. 29, 6 (2020), 851–859. DOI:<https://doi.org/10.1177/1420326X19887481>.
- [19] Feng, J. et al. 2013. Cooling load differences between radiant and air systems. *Energy and Buildings*. 65, (Oct. 2013), 310–321. DOI:<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2013.06.009>.
- [20] Grygierek, K. et al. 2023. Controlling and Limiting Infection Risk, Thermal Discomfort, and Low Indoor Air Quality in a Classroom through Natural Ventilation Controlled by Smart Windows. *Energies*. 16, 2 (2023). DOI:<https://doi.org/10.3390/en16020592>.
- [21] Gwerder, M. et al. 2008. Control of thermally-activated building systems (TABS). *Applied Energy*. 85, 7 (Jul. 2008), 565–581. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.08.001>.
- [22] Gwerder, M. et al. 2007. Control Of Thermally Activated Building Systems. *Proceedings of Clima 2007 - WellBeeing Indoors*. 85, June (2007). DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.08.001>.
- [23] Gwerder, M. et al. 2009. Control of thermally activated building systems (TABS) in intermittent operation with pulse width modulation. *Applied Energy*. 86, 9 (Sep. 2009), 1606–1616. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.01.008>.
- [24] Haddad, S. et al. 2021. On the potential of demand-controlled ventilation system to enhance indoor air quality and thermal condition in Australian school classrooms. *Energy and Buildings*. 238, (May 2021). DOI:<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2021.110838>.
- [25] He, X. et al. 2023. Topology optimization of thermally activated building system in high-rise building. *Energy*. 284, August (2023), 128637. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128637>.
- [26] Hermann, R. et al. 2008. *Kompendium wiedzy - ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo 08/09*. Omni Scala.
- [27] Huang, M. et al. 2024. Performance verification of pipe-embedded wall system in school building and proposal of its optimal control strategy. *Japan Architectural Review*. 7, 1 (2024). DOI:<https://doi.org/10.1002/2475-8876.12447>.
- [28] International Organization for Standardization 2012. ISO 11855-4 Building Environment Design – Design, Dimensioning, Installation and Control of Embedded Radiant Heating and Cooling Systems - Part 4: Dimensioning and calculation of the dynamic heating and cooling capacity of Thermo Active Building Systems (.
- [29] ISO 11855-1:2021(en), Building environment design — Embedded radiant heating and cooling systems

- Part 1: Definitions, symbols, and comfort criteria: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:11855:-1:ed-2:v1:en>. Accessed: 2024-04-17.
- [30] Kipp & Zonen 2023. CMP21 spectrally flat Class A pyranometer - Kipp & Zonen.
- [31] Klein, S.A. et al. 2009. *TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program*. Wisconsin, USA: University of Wisconsin.
- [32] Lehmann, B. et al. 2013. Intermediate complexity model for Model Predictive Control of Integrated Room Automation. *Energy and Buildings*. 58, (Mar. 2013), 250–262. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.12.007>.
- [33] Lehmann, B. et al. 2011. Thermally activated building systems (TABS): Energy efficiency as a function of control strategy, hydronic circuit topology and (cold) generation system. *Applied Energy*. 88, 1 (Jan. 2011), 180–191. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.08.010>.
- [34] Lim, J.-H.H. et al. 2014. Development of operational guidelines for thermally activated building system according to heating and cooling load characteristics. *Applied Energy*. 126, (Aug. 2014), 123–135. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.087>.
- [35] Ludwiczak, A. et al. 2018. Jakość powietrza w żłobku - monitoring, ocena i rozwiązania problemów. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*. T. 49, nr, 9 (Sep. 2018), 36–42. DOI:<https://doi.org/10.15199/9.2018.9.7>.
- [36] Manca, S. et al. 2020. The effect of school design on users' responses: A systematic review (2008-2017). *Sustainability (Switzerland)*. 12, 8 (Apr. 2020). DOI:<https://doi.org/10.3390/SU12083453>.
- [37] Mazlan, A.N. et al. 2020. Thermal comfort study for classroom in urban and rural schools in Selangor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 849, 1 (May 2020). DOI:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/849/1/012016>.
- [38] Meierhans, R.A. 1993. Slab Cooling and Earth Coupling. *ASHRAE Transactions*. 99(2), (1993), 511–518. DOI:<https://doi.org/DE-93-02-4>.
- [39] Michalak, P. 2021. Selected Aspects of Indoor Climate in a Passive Office Building with a Thermally Activated Building System: A Case Study from Poland. *Energies 2021, Vol. 14, Page 860*. 14, 4 (Feb. 2021), 860. DOI:<https://doi.org/10.3390/EN14040860>.
- [40] MOSTOSTAL WARSZAWA S.A. and SP.K., J.P.S.Z.O.O. 2019. *WAIWIZ-HV-OT-R03-20190107.doc*.
- [41] Nageler, P. et al. 2018. Validation of dynamic building energy simulation tools based on a real test-box with thermally activated building systems (TABS). *Energy and Buildings*. 168, (Jun. 2018), 42–55. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.025>.
- [42] Obowiązek informacyjny – Veolia – Energia dla Poznania: <https://energiadlapoznania.pl/wazne-informacje/dane-techniczne/>. Accessed: 2024-08-27.
- [43] Oldewurtel, F. et al. 2012. Use of model predictive control and weather forecasts for energy efficient building climate control. *Energy and Buildings*. 45, (Feb. 2012), 15–27. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.022>.
- [44] Olesen, B.W. et al. 2002. Control of Slab Heating and Cooling Systems Studied by Dynamic Computer Simulations. *Ashrae Transactions*. (2002), 698–707.
- [45] Olesen, B.W. et al. 2006. Dynamic evaluation of the cooling capacity of thermo-active building systems. *ASHRAE Transactions*. 112 PART 1, (2006), 350–357.
- [46] Olesen, B.W. 2007. Operation and control of thermally activated slab heating and cooling systems.

- IAQVEC 2007 Proceedings - 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings: Sustainable Built Environment*. 1, (2007), 1069–1076.
- [47] Olesen, B.W. 1996. Radiant heating and cooling by embedded water-based systems. *Ashrae Journal*. 1, Figure 1 (1996), 1–19.
- [48] Pai, A. and Kumar, B. 2023. Experimental investigation of TABS and all air system in tropical savanna climate: A thermal comfort and energy performance study. *Energy and Buildings*. 299, September (2023), 113593. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113593>.
- [49] Pałaszyska, K. et al. 2024. Czy dynamika TABS podąża za dynamiką planu zajęć? Badania pomiarowe i ankietowe w budynku typu nZEB. *CIEPŁOWNICTWO, OGRZEWNICTWO, WENTYLACJA*. 1, 1 (Jan. 2024), 18–26. DOI:<https://doi.org/10.15199/9.2024.1.4>.
- [50] Pałaszyska, K. et al. 2017. Energy demand and thermal comfort of HVAC systems with thermally activated building systems as a function of user profile. *E3S Web of Conferences*. 22, (2017). DOI:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172200130>.
- [51] Pałaszyska, K. et al. 2024. Problem integracji systemów sterowania stropami aktywowanymi termicznie i wentylacji w budynkach edukacyjnych. *Instal*. 3, (2024), 31–38. DOI:<https://doi.org/10.36119/15.2024.3.4>.
- [52] Parlament Europejski i Rada 2023. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie efektywności energetycznej oraz zmieniająca rozporządzenie (UE) 2023/955 (wersja przekształcona). *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*. 231, 1 (2023), 1–111.
- [53] Parlament Europejski i Rada 2010. DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*. 153, (2010), 13–35.
- [54] Pełech, A. and Politechnika Wroclawska. Oficyna Wydawnicza. 2013. Wentylacja i klimatyzacja : podstawy. (2013).
- [55] Porowski 2011. Sterowanie energoptymalne klimatyzacją sal operacyjnych. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*. 3, (2011), 109–114.
- [56] Porowski 2011. Strategia energoptymalnego sterowania układu klimatyzacyjnego przy dopuszczalnych przedziałach tolerancji parametrów. 2, (2011), 69–75.
- [57] Porowski, M. 2019. The optimization method of HVAC system from a holistic perspective according to energy criterion. *Energy Conversion and Management*. 181, September 2018 (2019), 621–644. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.11.069>.
- [58] Rabiej, M. 2012. *Statystyka z programem Statistica*. Helion.
- [59] Rakesh C et al. 2023. Experimental investigation on cooling surface heat transfer behavior of a thermally activated building system in warm and humid zones. *Case Studies in Thermal Engineering*. 49, (2023), 103254. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103254>.
- [60] Ratajczak, K. et al. 2023. Recent Achievements in Research on Thermal Comfort and Ventilation in the Aspect of Providing People with Appropriate Conditions in Different Types of Buildings—Semi-Systematic Review. *Energies 2023, Vol. 16, Page 6254*. 16, 17 (Aug. 2023), 6254. DOI:<https://doi.org/10.3390/EN16176254>.
- [61] Rijksen, D.O. et al. 2010. Reducing peak requirements for cooling by using thermally activated building systems. *Energy and Buildings*. 42, 3 (2010), 298–304.

- DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.09.007>.
- [62] Romani, J. et al. 2016. Simulation and control of thermally activated building systems (TABS). *Energy and Buildings*. 127, (2016), 22–42. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.057>.
- [63] Sadrizadeh, S. et al. 2022. Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment. *Journal of Building Engineering*. 57, (Oct. 2022), 104908. DOI:<https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.104908>.
- [64] Schmelas, M. et al. 2015. Adaptive predictive control of thermo-active building systems (TABS) based on a multiple regression algorithm. *Energy and Buildings*. 103, (Oct. 2015), 14–28. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.012>.
- [65] Sharifi, M. et al. 2022. A heuristic algorithm for optimal load splitting in hybrid thermally activated building systems. *Journal of Building Engineering*. 50, (Jun. 2022), 104160. DOI:<https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.104160>.
- [66] Shrestha, M. and Rijal, H.B. 2023. Investigation on Summer Thermal Comfort and Passive Thermal Improvements in Naturally Ventilated Nepalese School Buildings. *Energies*. 16, 3 (Feb. 2023). DOI:<https://doi.org/10.3390/EN16031251>.
- [67] Sinacka, J. 2017. Analiza eksploatacyjna budynku pasywnego w aspekcie komfortu klimatycznego i zużycia energii. *CIEPŁOWNICTWO, OGRZEWNICTWO, WENTYLACJA*. 1, 12 (2017), 11–18. DOI:<https://doi.org/10.15199/9.2107.12.2>.
- [68] Sobczyk, M. 2007. *Statystyka*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [69] Szczechowiak, E. 1985. Analityczne obliczenie parametrów powietrza wilgotnego. *Chłodnictwo*. 8, (1985), 7–11.
- [70] Tödtli, J. et al. 2009. Regelung und Steuerung von thermoaktiven Bauteilsystemen (TABS). *Bauphysik*. 31, 5 (Oct. 2009), 319–325. DOI:<https://doi.org/10.1002/BAPI.200910042>.
- [71] TRNSYS 2012. TRNSYS 17 Documentation. (2012), 3.
- [72] TRNSYS 17 2013. *Trnsys 17 Multizone Building modeling with Type56 and TRNBuild*.
- [73] Venko, S. et al. 2015. An experimental study of mixed convection over various thermal activation lengths of vertical TABS. *Energy and Buildings*. 98, (2015), 151–160. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.036>.
- [74] Villar-Ramos, M.M. et al. 2022. A Review of Thermally Activated Building Systems (TABS) as an Alternative for Improving the Indoor Environment of Buildings. *Energies*. 15, 17 (Sep. 2022). DOI:<https://doi.org/10.3390/EN15176179>.
- [75] Vivek, T. et al. 2023. Indoor thermal comfort analysis of TABS with untreated natural ventilation in a warm and humid climate – An experimental study. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 148, May (2023), 104921. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.104921>.
- [76] Wargocki, P.; et al. 2020. General rights The relationships between classroom air quality and children’s performance in school. The relationships between classroom air quality and children’s performance in school. (2020). DOI:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106749>.
- [77] Weber, T. et al. 2005. Validation of a FEM-program (frequency-domain) and a simplified RC-model (time-domain) for thermally activated building component systems (TABS) using measurement data. *Energy and Buildings*. 37, 7 (2005), 707–724. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.10.005>.
- [78] De Wit, A.K. and Wisse, C.J. 2012. Hydronic circuit topologies for thermally activated building systems

- Design questions and case study. *Energy and Buildings*. 52, (2012), 56–67.
DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.05.010>.
- [79] Yu, T. et al. 2015. Experimental investigation of cooling performance of a novel HVAC system combining natural ventilation with diffuse ceiling inlet and TABS. *Energy and Buildings*. 105, (2015), 165–177.
DOI:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.039>.
- [80] Zeiler, W. and Boxem, G. 2009. Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. *Building and Environment*. 44, 11 (2009), 2308–2317.
DOI:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.005>.

Załączniki

Z1 Badania subiektywne i obiektywne w wybranym pomieszczeniu dydaktycznym

W budynku Wydziału Architektury i Wydziału Inżynierii Zarządzania (WAIWIZ) Politechniki Poznańskiej przeprowadzono badania subiektywne (ankietowe) oraz obiektywne (pomiar parametry otoczenia), w określonej sali dydaktycznej, Okres badań obejmował wybrane dni w miesiącach od marca do maja 2022 roku,

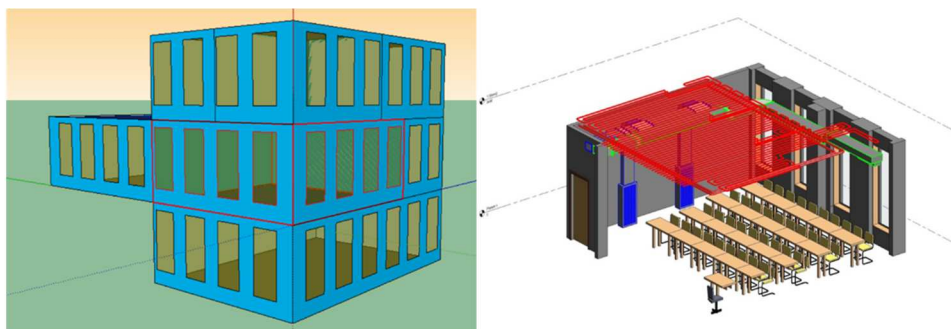
1. Charakterystyka obiektu doświadczalnego – budynku Wydziału Architektury i Wydziału Inżynierii Zarządzania (WAIWIZ) Politechniki Poznańskiej [49]

Badania ankietowe i pomiarowe zostały przeprowadzone w budynku dydaktycznym Politechniki Poznańskiej.

Badane pomieszczenia dydaktyczne charakteryzuje się następującymi parametrami:

- sala narożnikowa o orientacji północno-wschodniej (pomieszczenie A), lub południowo zachodniej (pomieszczenie B) zlokalizowana na pierwszym piętrze,
- powierzchnia pomieszczenia 62,57 m² (pomieszczenie A), 54,85 – (pomieszczenie B), wysokość 3,30 m,
- maksymalna liczba użytkowników kolejno: 41 i 31
- obciążenie według semestralnego harmonogramu 5 -7 dni w tygodniu, maksymalnie przez 14 godzin dziennie (8:00-22:00),
- współczynnik przenikania ciepła przez ścianę zewnętrzną 0,14 W/(m²·K),
- okna potrójnie szklone, których współczynnik przenikania ciepła wynosi 0,76 W/(m²·K) ,
- zastosowano ruchome elementy zaciemniające, opuszczane gdy system SGC (Strop Grzewczo-Chłodzący) znajduje się w trybie chłodzenia i promieniowanie słoneczne na elewację przekracza 140 W/m² ,
- współczynnik szczelności n50 wynosi 0,2h-1,
- założona temperatura powietrza wewnętrznego dla okresu zimowego wynosi 21-22°C, a okresu letniego 24-26°C,
- projektowy strumień powietrza nawiewanego przez wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną wynosi 1020 m³/h (36 m³/h na osobę).

Wizualizację pomieszczenia o orientacji północno – wschodniej przedstawiono na, Rys. 73



Rys. 73 Wizualizacja badanego pomieszczenia

2. Badania oceny subiektywnej

2.1. Opis badań ankietowych [49]

Na podstawie wytycznych [1] przygotowano badanie ankietowe, w którym zbierano ocenę jakości środowiska wewnętrznego. Badanie przeprowadzono dla pomieszczenia o orientacji północno-wschodniej.

Formularze ankietowe zaprezentowano na Rys. 74, Ankieta była złożona z 9 pytań, które dotyczyły ubioru i aktywności osób badanych oraz ich oceny odczuć a także preferencji w zakresie parametrów środowiska wewnętrznego, Ocena dotyczyła warunków w sali w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć,

Badania ankietowe przeprowadzono w dniach 3, 4 i 7 marca, 13 i 28 kwietnia oraz 24 i 25 maja 2022, Zestawienie dni ankietowych wraz z liczbą oddanych ankiet przedstawiono w Tab. 0.1, Ankiety były dostarczane do badanego pomieszczenia przed każdą badaną jednostką zajęć trwającą 1,5 godziny, Prowadzący zajęcia byli proszeni o rozdanie ankiet studentom na początku zajęć, a następnie zbierane na końcu, Wśród ankietowanych znajdowali się wszyscy obecni w sali – studenci i prowadzący, Studenci wypełniali i oddawali ankiety osobie prowadzącej zajęcia,

Tab. 0.1 Dni badań wraz z liczbą oddanych ankiet

Data	Godzina rozpoczęcia zajęć	Liczba oddanych ankiet	Procent zapelnienia sali
03.03.2022	09:45	16	39%
	11:45	14	34%
	13:30	10	24%
04.03.2022	09:45	28	68%
	11:45	26	63%
	13:30	27	66%
07.03.2022	08:00	13	32%
	09:45	18	44%
13.04.2022	14:20	12	29%
28.04.2022	11:30	7	17%
	15:15	11	27%
24.05.2022	11:45	16	39%
	13:30	5	12%
25.05.2022	08:00	14	34%
	09:45	13	32%
	11:45	2	5%

Ankieta składała się z 9 pytań, które można podzielić na części:

- Część 1 – ogólną, dotyczącą wieku i płci ankietowanych, (pytania 1 i 2),
- Część 2 – ocenę stopnia izolacyjności odzieży, aktywności uczestników i ich lokalizacji w sali, (pytania 3, 4, 5),
- Część 3 – ogólnej oceny parametrów komfortu i preferencji w czasie pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć, (pytania 6 i 7, prawidłowo wypełniono w 102 ankietach co stanowi 45%),
- Część 4 – szczegółowej oceny parametrów komfortu klimatycznego w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć, (pytanie 8, prawidłowo wypełniono w 212 ankietach co stanowi 93%),
- Część 5 – czynności jakie wykonano, aby poprawić swój komfort (pytanie 9),

Niniejsze badanie dotyczy analiz jakości środowiska wewnętrznego w budynku WAIWIZ. Pomoże ono lepiej zrozumieć nam potrzeby i ocenę użytkowników odnośnie jakości środowiska wewnętrznego w nowoczesnych budynkach energooszczędnych. Będziemy zobowiązani za poświęcenie nam kilku minut na jej wypełnienie oraz zapisanie daty i godzin na samym końcu.
Zespół badawczy z Zakładu Ogrzewania, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza PP

1. Płeć
 kobieta inna
 mężczyzna nie chce podawać

2. Wiek (proszę zaznaczyć orientacyjnie kreską)
 18 25 35 45 55 65 100

3. W trakcie zajęć (proszę zaznaczyć wszystkie właściwe pola):
 Przez większość czasu Ostatnie 20 minut
 ...siadzę i słucham
 ...siadzę i pracuję przy komputerze/piszę odręcznie
 ...stoję i mówię
 ...stoję i piszę na tablicy
 ...chodzę

4. Ostatnie 20 min głównie przebywałem/-am...:
 ...przy oknie zewnętrznym ...przy ścianie przeszklonej od strony atrium
 ...przy drzwiach ...w środku sali
 ...przy ścianie wewnętrznej

5. W ostatnich 20 min miałem/-am na sobie (proszę zaznaczyć):
 długie spodnie T-shirt skarpety
 krótkie spodnie spódnicę sandały
 kalesony suknie buty do kostki
 rajstopy bluzy/sweter buty za kostkę
 koszulę z długim rękawem marynarkę
 bluzkę z długim rękawem stopki

6. Ogólna ocena komfortu w TYM pomieszczeniu i wpływu warunków w TYM pomieszczeniu na jakość pracy: <- - ocena ostatnich 20 min, ○ - oceny pierwszych 5 min w TEJ sali dzisiaj.
 zdecydowanie komfortowo raczej komfortowo raczej niekomfortowo zdecydowanie niekomfortowo
 pozytywny wpływ neutralny negatywny wpływ

7. Preferowałbym, żeby w sali było/była...postawić X dla preferencji podczas ostatnich 20 min, a ○ dla preferencji podczas pierwszych ok. 5 min przebywania w sali dzisiaj.
 zdecydowanie chłodniej bez zmian zdecydowanie cieplej
 zdecydowanie intensywniejsza wentylacja bez zmian zdecydowanie mniej intensywna wentylacja

8. Szczegółowa ocena jakości środowiska w TEJ sali (proszę zaznaczyć kreską)

k	W tej sali jestem dziś OD-GODZINY					Ocena warunków				
	Ocena warunków w pierwszych 5 min przebywania w TEJ sali					w ostatnich 20 minutach przebywania w TEJ sali				
Temperatur	zimno neutralnie gorąco					zimno neutralnie gorąco				
Jakość powietrza	zła dobra					zła dobra				
Wilgotności	suche powietrze wilgotne powietrze					suche powietrze wilgotne powietrze				
Oświetlenie	ciemno jasno					ciemno jasno				
Hałas	cicho głośno					cicho głośno				

9. Zaznacz które czynności wykonałeś/-łaś w trakcie pobytu w TEJ sali. Podział sekcji (ciągły)

- + otwarcie okna
- + zamknięcie okna
- + spuszczenie / zwiększenie przesłonięcia żaluzji
- + podniesienie / zmniejszenie przesłonięcia żaluzji
- + zdjęcie warstwy ubrania
- + nałożenie warstwy ubrania
- + włączenie oświetlenia sztucznego
- + wyłączenie oświetlenia sztucznego (nie licząc opuszczenia sali)
- + zwiększenie nastawy temperatury
- + zmniejszenie nastawy temperatury
- + zmiana miejsca / pozycji pracy

Data: godzina rozpoczęcia zajęć w TEJ sali (209) godzina wypełnienia ankiety:

1 z 2

Rys. 74 Ankieta

W przypadku pytań 6 oraz 7, zmiennym jakościowym przyporządkowano wartości liczbowe, W przypadku pytania 6, dotyczącego oceny komfortu przyporządkowanie przedstawiono w Tab. 0.2.

Tab. 0.2 Przyporządkowanie wartości liczbowych w pytaniu nr 6 w części dotyczącej odczucia komfortu w przeprowadzanej ankiecie.

Odpowiedź	Przyporządkowana wartość liczbową
Zdecydowanie komfortowo	1
Raczej komfortowo	2
Raczej niekomfortowo	3
Zdecydowanie niekomfortowo	4

Przyporządkowanie wartości liczbowych w przypadku pytania 6, dla części dotyczącej wpływu warunków oraz w pytaniu 7 przedstawiono w Tab. 0.3.

Tab. 0.3 Przyporządkowanie wartości liczbowych w pytaniu nr 6 i 7

Przyporządkowana wartość liczbową	Odpowiedź w pytaniu nr 6, w części dotyczącej wpływu warunków w pomieszczeniu na jakość pracy	Odpowiedź w pytaniu nr 7, w części dotyczącej preferencji termicznej	Odpowiedź w pytaniu nr 7, w części dotyczącej preferencji wentylacyjnej
2	Pozytywny wpływ	Zdecydowanie ciepłej	Zdecydowanie intensywniejsza wentylacja
1			
0	Neutralny	Bez zmian	Bez zmian
-1			
-2	Negatywny wpływ	Zdecydowanie chłodniej	Zdecydowanie mniej intensywna wentylacja

Do pomiarów parametrów powietrza wewnętrznego wykorzystano mierniki NEMo XT Mini (Ethera, Francja), które zlokalizowano na wysokości 2m przy ścianie wewnętrznej pomieszczenia. Rejestrowano: temperaturę powietrza, wilgotność względną powietrza, stężenie CO₂. Zakresy pomiarowe mierzonych parametrów zestawiono w Tab. 0.4. Przebiegi poszczególnych parametrów zbierano w trakcie całej doby z krokiem 10 minutowym,

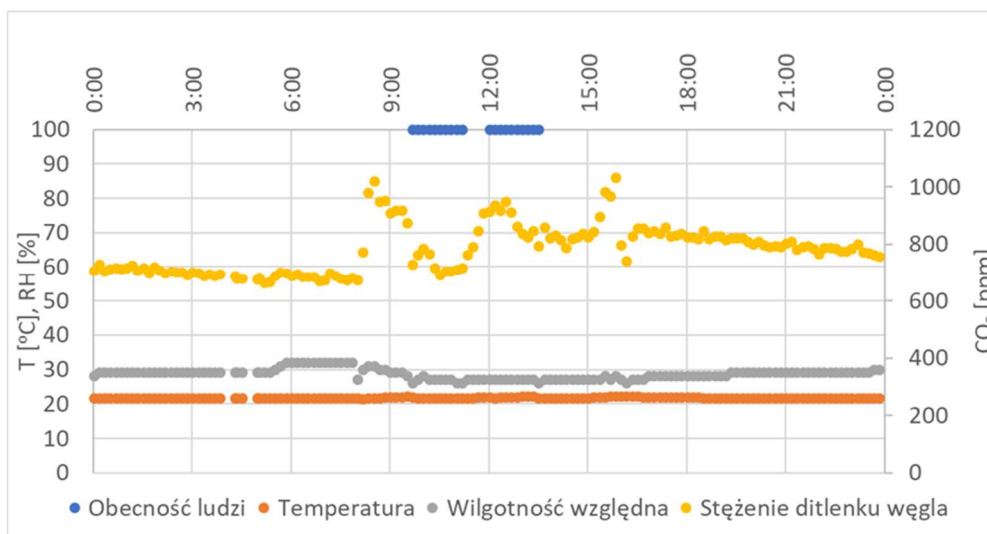
Tab. 0.4 Charakterystyka rejestratora parametrów jakości powietrza we-wnętrznego NEMo XT Mini (Ethera, Francja) [49]

Mierzony parametr powietrza	NEMo XT Mini	
Ditlenek węgla	metoda	niedyspersyjna spektrometria w podczerwieni
	wykrywania	
	zakres pomiarowy	0-5000 ppm
	rozdzielczość	1 ppm
	dokładność	±50 ppm
Temperatura	metoda	CMOS
	wykrywania	
	zakres pomiarowy	(-55)-(+125) °C
	rozdzielczość	0,08 °C
Wilgotność względna	dokładność	±0,5 °C
	metoda	pojemnościowa
	wykrywania	
	zakres pomiarowy	0-95%
	rozdzielczość	0,08%
	dokładność	±3%

2.2. Wyniki badań ankietowych

2.2.1. 3 marca 2022

W dniu 3 marca 2022 w badanym pomieszczeniu zajęcia odbywały się w godzinach od 9:45 do 11:15, oraz od godziny 12:00 do 13:30. Przerwa między pierwszymi, a drugimi zajęciami trwała 30 minut, kolejna przerwa między zajęciami trwała 45 minut. Okna były otwarte od 9:20 do 9:30 oraz od 13:05 do 13:30. Ogółem tego dnia oddano 41 ankiet. Wiek większości ankietowanych osób (29), mieścił się w przedziale 18-25 lat wiek pozostałych w przedziale 25-35 lat. Rys. 75 przedstawia przebieg parametrów w ciągu całej doby.



Rys. 75 Przebieg parametrów powietrza w dniu 3.03.2022

2.2.1.1. 09:45 do 11:15 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

W przeprowadzonym badaniu ankietowym udział wzięło 19 respondentów, z których 11 to kobiety, pozostali to mężczyźni.

Podczas zajęć główną aktywnością było wykonywanie czynności siedzących, takich jak słuchanie, pisanie ręczne lub na komputerze. W ciągu pierwszych 5 minut zajęć tylko jeden ankietowany chodził, stało i pisał na tablicy. 5 ankietowanych (26%) nie uzupełniło części ankiety dotyczącej aktywności w ciągu ostatnich 20 minut zajęć. Odsetek osób aktywnych fizycznie w ostatnich 20 minutach zajęć nie wzrósł.

Podczas pobytu w sali w 5 ankietach zaznaczono zdjęcie warstwy ubrania, 3 osoby nałożyły warstwę ubrania, również 3 osoby zmieniły miejsce w sali, 1 ankietowany zwiększył nastawy temperatury.

W czasie zajęć większość uczestników miała na sobie długie spodnie, bluzkę z długim rękawem lub t-shirt oraz bluzę. 11 osób miało buty do kostki, a pozostałe osoby buty za kostkę. 1 ankietowany pod długimi spodniami miał założone rajstopy.

Spśród 19 ankiet, poprawnie wypełnionych (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) zostało 7 zawierających ogólną ocenę komfortu, warunków pomieszczenia i preferencji użytkowników (pytania 6 i 7). Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) przez 17 ankietowanych i może stanowić przedmiot dalszych analiz.

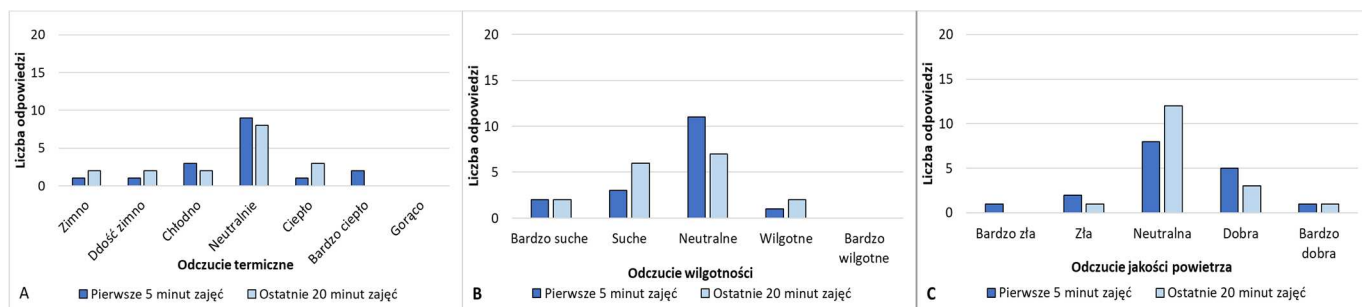
- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

Tylko 7 uczestników, co stanowi 17% całej grupy respondentów, właściwie uzupełniło tę część ankiety. Jest to próba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Preferencje termiczne i wentylacyjne

Tylko 7 uczestników, co stanowi 17% całej grupy respondentów, właściwie uzupełniło tę część ankiety. Jest to próba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność, jakość powietrza



Rys. 76 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C o 9:45-11:15 w dniu 3.03.2023

Na początku zajęć 53% uczestników uważała, że temperatura jest neutralna. W ciągu ostatnich 20 minut ten odsetek spadł o 4 punkty procentowe i wyniósł 47%. 1 ankietowany (6%) uważał, że jest „Ciepło”, odpowiedzi „Bardzo ciepło” udzieliły 2 osoby. Nikt nie uważał, że jest „Gorąco” w ciągu pierwszych 5 minut zajęć. Równocześnie w ciągu pierwszych 5 minut zajęć 18% osób (3 osoby) uważało, że jest „Chłodno”, 1 że jest „Dość zimno” i jedna że „Zimno”. W trakcie ostatnich 20 minut zajęć zwiększył się odsetek odpowiedzi „Chłodno”, „Dość zimno” i „Zimno” – takich odpowiedzi udzieliło po 12% respondentów, czyli łącznie 36.

W zakresie wilgotności, ponad 65% ankietowanych na początku zajęć i 41% ankietowanych na końcu zajęć uznało, że wilgotność była neutralna. 30% uznało, że powietrze w trakcie całych zajęć było „Suche” lub „Bardzo suche”. Udział ten zwiększył się do 47% w trakcie ostatnich 20 minut zajęć. Pozostali ocenili, że w sali było „Wilgotno”.

W przypadku jakości powietrza, 47% na początku i 71% respondentów na końcu zajęć uznało, że była ona „Neutralna”.

12% ankietowanych uznało, że jakość powietrza była „Zła” w ciągu pierwszych 5 minut zajęć, odsetek ten spadł o 50 punktów procentowych i na końcu zajęć wyniósł 6%. 1 ankietowany (6%) uznał, że jakość powietrza na początku zajęć była „Bardzo zła”. Pozostali (29%) uważali, że jakość powietrza na początku zajęć była „Dobra”, a 6%, że była ona „Bardzo dobra”. Na końcu zajęć, 18% ankietowanych uważało, że jakość powietrza była „Dobra”, a 1 osoba (6%), że „Bardzo dobra”.

- Wyniki pomiarów

Tab. 0.5 Dane pomiarowe dla jednostki 09:45-11:15 w dniu 3.03.2023

Czas pomiarów	Cała jednostka 09:45-11:15			Pierwsze 5 minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	21.75	715	27	22.00	728	26	21.75	711	26,5
Średnia	21.75	740.09	26.91						
Odch.Stand.	0.22	53.23	0.70						

Parametry jakości powietrza w trakcie trwania zajęć utrzymywały się na tym samym poziomie. Mediana stężenia ditlenku węgla wyniosła 715ppm, co świadczy o obiektywnie dobrej jakości powietrza i znalazło odzwierciedlenie w badaniu odczuć subiektywnych. 82% ankietowanych na początku zajęć i 94% pod koniec uznało, że jakość powietrza była „Neutralna” lub „Dobra” i „Bardzo Dobra”. Wysoki odsetek respondentów (29% na początku, 47% na końcu zajęć) uważał, że powietrze w pomieszczeniu jest „Suche”, lub „Bardzo Suche”. Mediana wilgotności względnej wyniosła 27% co potwierdza zbyt niski poziom nawilżenia powietrza.

2.2.1.2. 12:00 do 13:30 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

W przeprowadzonym badaniu ankietowym udział wzięło 23 respondentów, z których 18 to kobiety, a pozostali to mężczyźni.

Podczas zajęć główną aktywnością było wykonywanie czynności siedzących, takich jak słuchanie, pisanie ręczne lub na komputerze. W ciągu pierwszych 5 minut zajęć 4 ankietowanych stało i słuchało, 2 stało i pisało na tablicy, 1 chodził po sali. 7 ankietowanych (30%) nie uzupełniło części ankiety dotyczącej aktywności w ciągu ostatnich 20 minut zajęć. Wśród pozostałych, odsetek osób aktywnych fizycznie w ostatnich 20 minutach wzrósł (3 osoby chodziły po sali).

W 1 ankiecie zaznaczono otwarcie okna a w 4 ankietach zaznaczono zamknięcie okna. Zgodnie z informacją przesłaną poprzez kontaktry okienne okna były otwarte w pomieszczeniu od 13:05 aż do końca zajęć. W jednej ankiecie zaznaczono podniesienie rolety okiennej oraz załączenie światła sztucznego, w 7 zdjęcie warstwy ubrania, 4 osoby nałożyły warstwę ubrania. 7 osób zmieniło miejsce w sali.

W czasie zajęć większość uczestników miała na sobie długie spodnie, 6 osób miało bluzkę z długim rękawem, a t-shirt 9. Bluzę lub sweter nosiło 16 osób, 9 osób miało buty do kostki, a 11 buty za kostkę. Pod długimi spodniami rajstopy nosiło dwoje osób. Nie podano informacji o ubiorze w 1 ankiecie.

Spśród 22 ankiet, 7 zawierających ogólną ocenę komfortu, warunków pomieszczenia i preferencji użytkowników (pytania 6 i 7) zostały poprawnie wypełnione (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć). Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) przez 20 ankietowanych (91%) i może stanowić przedmiot dalszych analiz.

- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

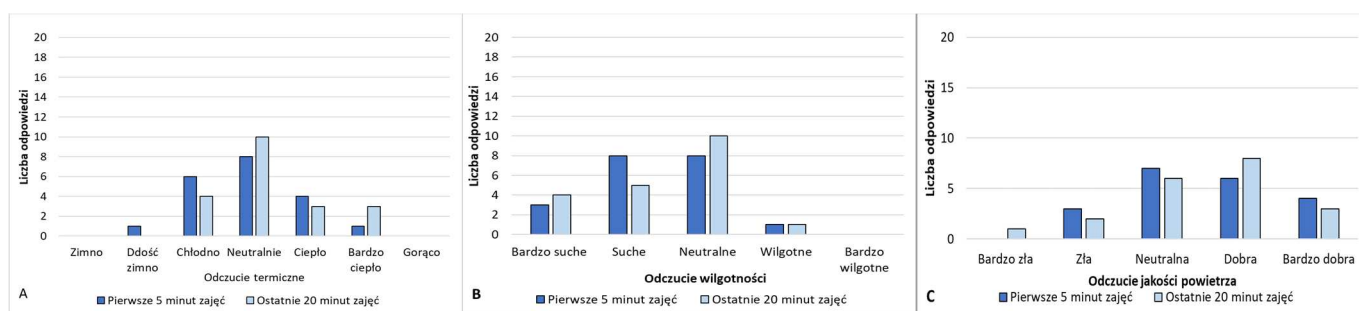
Tylko 7 uczestników, co stanowi 31% całej grupy respondentów, właściwie uzupełniło tę część ankiety. Jest to próba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Preferencje termiczne i wentylacyjne

Tylko 7 uczestników, co stanowi 31% całej grupy respondentów, właściwie uzupełniło tę część ankiety. Jest to próba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność, jakość powietrza

Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona przez 91% ankietowanych. Wyniki są przedstawione na Rys. 77.



Rys. 77 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C o 12:00-13:30 w dniu 3.03.2023

Na początku zajęć 40% uczestników uważało, że temperatura w pomieszczeniu jest neutralna. W ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten wzrósł o 7,7 punktów procentowych i wyniósł 50%. Wzrósł udział odpowiedzi: „Ciepło” „Bardzo ciepło” i „Gorąco” (46%).

W zakresie wilgotności ponad 60% ankietowanych uznało, że powietrze w trakcie całych zajęć było suche.

W przypadku jakości powietrza tylko jeden ankietowany uznał, że jakość powietrza była „Bardzo zła” zarówno na początku zajęć.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały zestawione w

Tab. 0.6

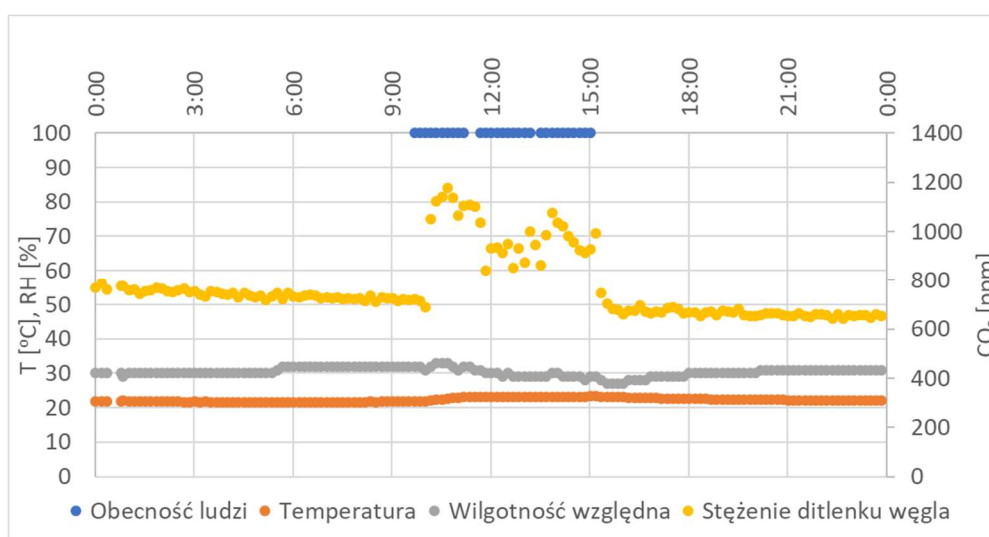
Tab. 0.6 Dane pomiarowe dla jednostki 12:00-13:30 w dniu 3.03.2023

Czas pomiarów	Cała jednostka 12:00-13:30			Pierwsze 5 minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
Mierzony parametr	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	22	907.5	27	22.00	906	27	22.25	834.5	27
Średnia	22.05	889.10	27.00						
Odch.Stand.	0.16	43.54	0.00						

Nie odnotowano znaczących zmian parametrów powietrza w trakcie zajęć. Temperatura wynosiła 22°C, różnica temperatury na początku i na końcu zajęć wyniosła 0,25K. Na początku zajęć stężenie ditlenku węgla przekraczało 900ppm i spadło o 71,5ppm na końcu.

2.2.2. 4 marca 2022

W dniu 4 marca 2022 w badanym pomieszczeniu zajęcia odbywały się w godzinach od 9:45 do 15:00. Przerwa pomiędzy pierwszymi a drugimi trwała 30 minut, kolejna trwała 15 minut. W trakcie trwania zajęć otwarto okno (13:15 do 13:30). Ogółem tego dnia oddano 81 ankiet. Wiek osób, poza jedną (65 lat), mieścił się w przedziale 18-25 lat. Na Rys. 78 przedstawiono przebieg parametrów w ciągu całej doby.



Rys. 78 Przebieg parametrów powietrza w dniu 4.03.2022

2.2.2.1. 09:45 do 11:15 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

W przeprowadzonym badaniu ankietowym wzięło udział 28 respondentów, z których 22 to kobiety, a pozostali to mężczyźni.

Podczas zajęć główną aktywnością było wykonywanie czynności siedzących, takich jak słuchanie, pisanie ręczne lub na komputerze. W ciągu pierwszych 5 minut, tylko dwóch ankietowanych angażowało się w czynności związane z ruchem, takich jak chodzenie, stanie i pisanie na tablicy. Odsetek osób aktywnych fizycznie w ostatnich 20 minutach wzrósł. Trzy osoby wypowiadały się stojąc i pisząc jednocześnie na tablicy oraz poruszając się po sali. Jedna osoba pozostawała w pozycji stojącej tylko mówiąc.

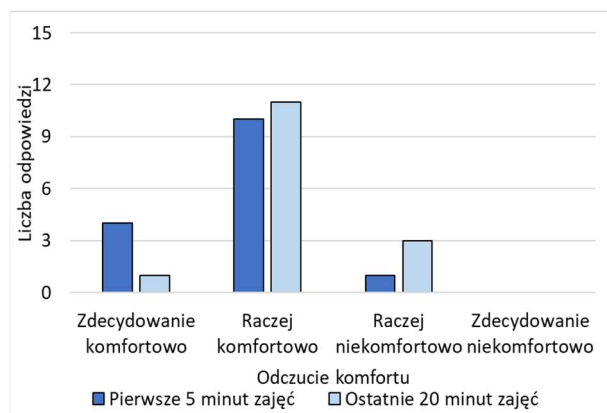
Podczas pobytu w sali, ankietowani zgłosili dwukrotne otwarcie i zamknięcie okna, 11 razy zdjęcie warstwy ubrania, 3 osoby nałożyły warstwę ubrania, a 1 osoba zmieniła miejsce w sali.

W czasie zajęć większość uczestników miała na sobie długie spodnie, bluzkę z długim rękawem lub t-shirt oraz bluzę.

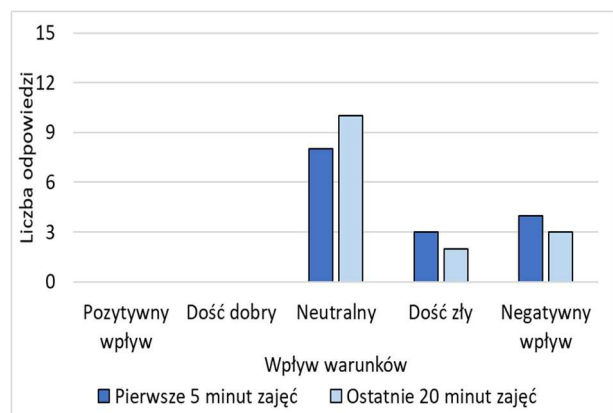
Spośród 28 ankiet, 15 zawierających ogólną ocenę komfortu, warunków pomieszczenia i preferencji użytkowników (pytania 6 i 7) zostały poprawnie wypełnione (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) i stanowią przedmiot dalszej analizy. Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) przez 23 ankietowanych.

- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

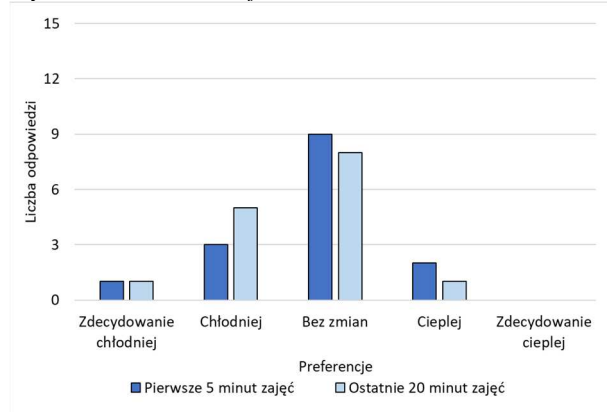
Odpowiedzi ankietowanych dotyczące oceny komfortu w pomieszczeniu i warunków wpływających na jakość pracy przedstawiono na Rys. 79 i Rys. 80



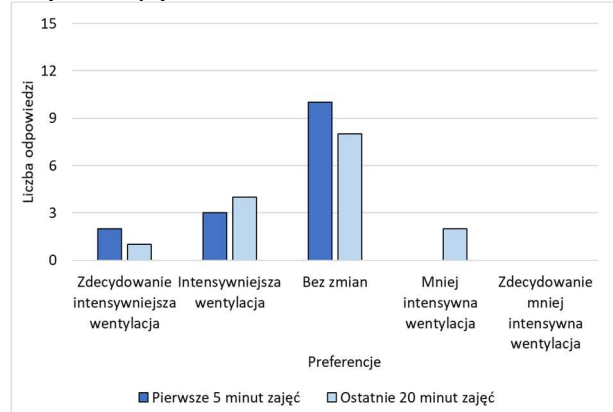
Rys. 79 Odczucie komfortu 9:45-11:15 w dniu 4.03.2023



Rys. 80 Wpływ warunków 9:45-11:15 w dniu 4.03.2023



Rys. 81 Preferencje termiczne 9:45-11:15 w dniu 4.03.2023



Rys. 82 Preferencje wentylacyjne 9:45-11:15 w dniu 4.03.2023

93% ankietowanych uznało, że warunki panujące podczas pierwszych 5 minut zajęć są „Raczej komfortowe” albo „Zdecydowanie komfortowe”. W trakcie ostatnich 20 minut odsetek ten spadł osiągając 83% osób w poczuciu komfortu. „Raczej niekomfortowo” czuło się 20% obecnych podczas ostatnich 20 minut zajęć i ta ocena wzrosła od początku zajęć o 13%.

Wpływ warunków został oceniony w większości jako neutralny (53% odpowiedzi w ciągu pierwszych 5 minut i 67% w ciągu ostatnich 20). Nikt nie uznał, że warunki w czasie zajęć wywarły na niego „Pozytywny”, lub „Dość dobry” wpływ. 20% uczestników w ciągu pierwszych 5 minut i 13% w ciągu ostatnich 20 minut trwania zajęć oceniło, że warunki wywierały na nich „Dość zły wpływ”. 27% ankietowanych uznało, że warunki w czasie

pierwszych 5 minut zajęć wywierały na nich zdecydowanie „Zły wpływ”, odsetek ten zmalał w ciągu ostatnich 20 minut wyniósł 20%.

- Preferencje termiczne i wentylacyjne

W ciągu pierwszych 5 minut zajęć 60% ankietowanych uznało, że temperatura w sali nie wymagała zmian, prawie 1/3 oczekiwała, aby było „Chłodniej” (7% „Zdecydowanie chłodniej”). „Neutralna” ocena temperatury obniżyła się i w ostatnich 20 minutach wyniosła 53%. Wzrosła do 33% liczba odpowiedzi, że w sali powinno być „Chłodniej”. 13% obecnych wolało, aby w sali było „Ciepłej” podczas pierwszych 5 minut i zmalała do 7% w trakcie ostatnich 20 minut.

67% ankietowanych nie chciało zmian poziomu wentylacji w czasie pierwszych 5 minut, wartość ta zmalała o 13 punktów procentowych w trakcie zajęć i w ciągu ostatnich 20 minut wyniosła 53%. 13% osób chciało, żeby w ciągu ostatnich 20 minut wentylacja była mniej intensywna.

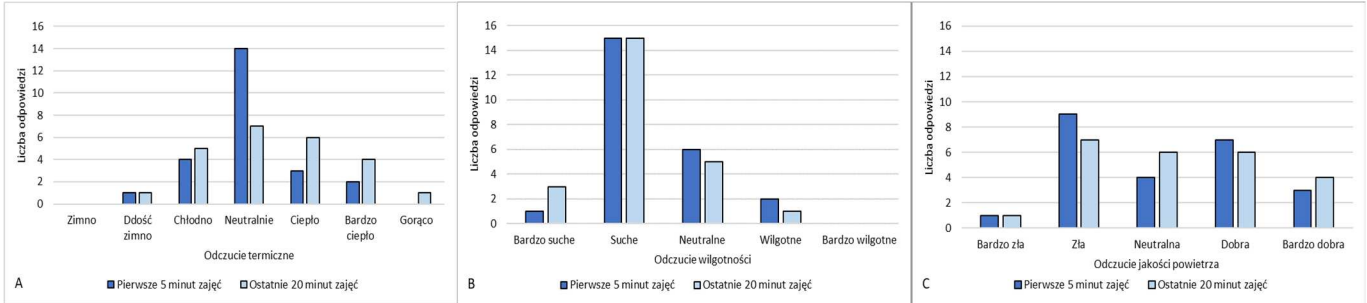
Intensywniejszej i „Zdecydowanie intensywniejszej” wentylacji oczekiwało około 33% ankietowanych, zarówno w czasie pierwszych 5 minut zajęć, jak i w czasie ostatnich 20 minut.

W tabeli

Tab. 0.7 przedstawiono wyniki pomiarów wykonane w trakcie trwania badania ankietowego.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność jakość powietrza

Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona przez 26 ankietowanych co stanowi 93%, wyniki zaprezentowano na Rys. 83.



Rys. 83 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C o 9:45-11:15 w dniu 4.03.2023

Na początku zajęć 58% uczestników uważało, że temperatura jest neutralna. W ciągu ostatnich 20 minut ten odsetek ten spadł o 27 punktów procentowych i wyniósł 29%. Wzrósł udział odpowiedzi: „Ciepło” „Bardzo ciepło” i „Gorąco” (46%).

W zakresie wilgotności, ponad 60% ankietowanych uznało, że powietrze w trakcie całych zajęć było „Suche”.

Odnośnie jakości powietrza tylko jeden ankietowany uznał, że jakość powietrza była „Bardzo zła” zarówno na początku, jak i na końcu zajęć.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały zestawione w

Tab. 0.7.

Tab. 0.7 Dane pomiarowe dla jednostki 09:45-11:15 w dniu 4.03.2023

Czas pomiarów	Cała jednostka 09:45-11:15			Pierwsze 5 minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	22	1049	32	21.75	718	32	22.50	1157.5	33
Średnia	22.11	932.27	32.09						
Odch.Stand.	0.41	213.47	0.70						

W trakcie zajęć nastąpił wzrost temperatury o 0,75 K. Znacząco wzrósł (o 440ppm) poziom stężenia ditlenku węgla, na końcu zajęć wyniósł 1157ppm. Otrzymane wyniki pokrywają się z subiektywną oceną użytkowników 40% oczekiwało, żeby w ciągu ostatnich 20 minut zajęć było „Chłodniej”, lub „Zdecydowanie chłodniej”. 1/3 oczekiwała zwiększenia wydajności wentylacji.

2.2.2.2. 11:45 do 13:15 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

W przeprowadzonym badaniu ankietowym udział wzięło 26 respondentów, z których 18 to kobiety, 6 to mężczyźni, pozostałe osoby nie chciały podawać płci.

- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

Tylko 9 uczestników, co stanowi 35% całej grupy respondentów, właściwie uzupełniło tę część ankiety. Jest to próba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

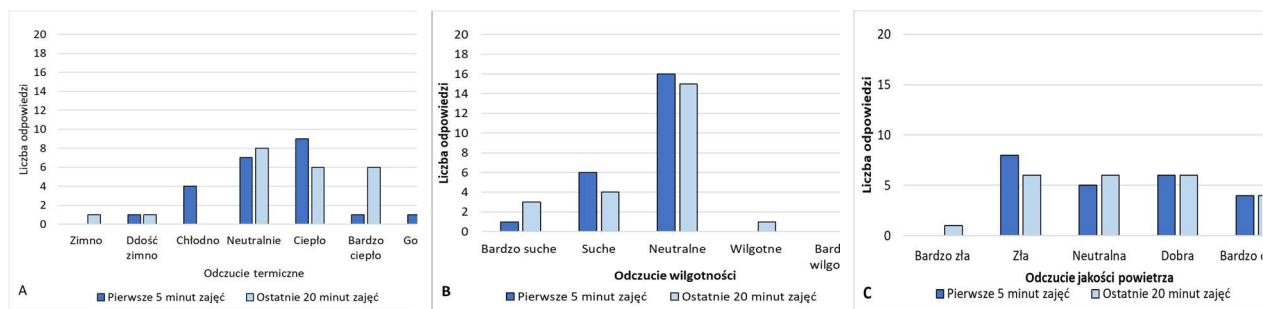
- Preferencje termiczne i wentylacyjne

Tylko 9 uczestników, co stanowi 35% całej grupy respondentów, właściwie uzupełniło tę część ankiety. Jest to próba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność jakość powietrza

W tej części otrzymano prawidłowy zwrot 23 ankiet co stanowi 88% badanej puli. Wyniki przedstawiono na Rys.

84



Rys. 84 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C o 11:45-13:15 w dniu 4.03.2023

Na początku zajęć 30% uczestników uważało, że temperatura jest neutralna. W ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten wzrósł o 3,8 punktu procentowego i wyniósł 35%. Udział odpowiedzi: „Ciepło”, „Bardzo ciepło” i „Gorąco” w ciągu pierwszych 5 minut wyniósł 48% i wzrósł do 57% w trakcie ostatnich 20 minut zajęć.

W zakresie wilgotności, ponad 70% ankietowanych, na początku zajęć i 65% ankietowanych na końcu zajęć uznało, że wilgotność była „Neutralna”. 30% uznało, że powietrze w trakcie zajęć było „Suche”.

W przypadku jakości powietrza, 35% ankietowanych uznało, że jakość powietrza była „Zła” w ciągu pierwszych 5 minut zajęć, odsetek ten spadł o 25 punktów procentowych i na końcu zajęć wyniósł 30%. 1 ankietowany (4%) uznał, że jakość powietrza na koniec zajęć była „Bardzo zła”. Pozostali (43%) uważali, że jakość powietrza na początku i końcu zajęć była „Dobra” lub „Bardzo dobra”.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały zestawione w Tab. 0.8

Tab. 0.8 Dane pomiarowe dla jednostki 11:45-13:15 w dniu 4.03.2023

Czas pomiarów	Cała jednostka 11:45-13:15			Pierwsze 5minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	23.25	931.5	29.5	23.25	1035	31	23.25	936	29
Średnia	23.25	925.90	29.60						
Odch.Stand.	0.00	61.02	0.70						

W trakcie zajęć temperatura nie wzrosła, spadło o 99 ppm stężenie ditlenku węgla. Nieznacznie spadła wilgotność (z 31% do 29%).

2.2.2.3. 13:30 do 15:00 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

W przeprowadzonym badaniu ankietowym udział wzięło 27 respondentów, z których 23 to kobiety, a 3 to mężczyźni a reszta określa swoją płć jako „Inna”.

Podczas zajęć główną aktywnością było wykonywanie czynności siedzących, takich jak słuchanie, pisanie ręczne lub na komputerze. W ciągu pierwszych 5 minut zajęć, dwóch ankietowanych angażowało się w czynności związane z ruchem, takich jak chodzenie, stanie i pisanie na tablicy. W ostatnich 20 minutach zajęć wzrósł odsetek osób aktywnych fizycznie. Trzy osoby wypowiadały się stojąc i jednocześnie pisząc na tablicy oraz poruszając się po sali. Jedna osoba pozostawała w pozycji stojącej, tylko mówiąc. W trakcie pierwszych 5 minut zajęć jedna osoba nie uzupełniła części dotyczącej swojej aktywności, w czasie ostatnich 20 minut 2 ankiety nie mają wypełnionej części dotyczącej aktywności.

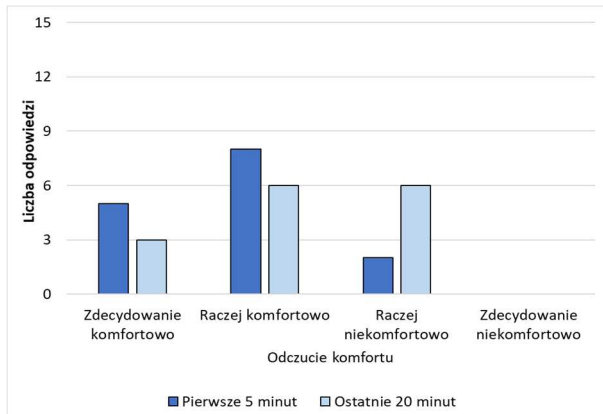
Podczas pobytu w sali ankietowani zgłosili 1 otwarcie okna, 1 podniesienie rolety, 10 razy zdjęcie warstwy ubrania, 3 osoby nałożyły warstwę ubrania, a 1 osoba zmieniła miejsce w sali.

W czasie zajęć większość uczestników miała na sobie długie spodnie, bluzkę z długim rękawem lub t-shirt oraz bluzę.

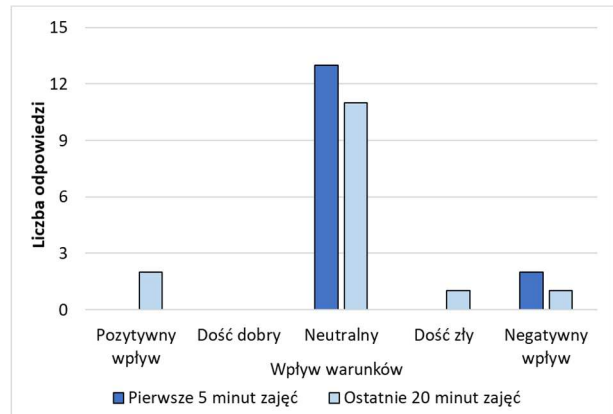
Spśród 27 ankiet, 15 zawierających ogólną ocenę komfortu, warunków pomieszczenia i preferencji użytkowników (pytania 6 i 7) zostały poprawnie wypełnione (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) i stanowią przedmiot dalszej analizy. Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) przez 24 ankietowanych.

- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

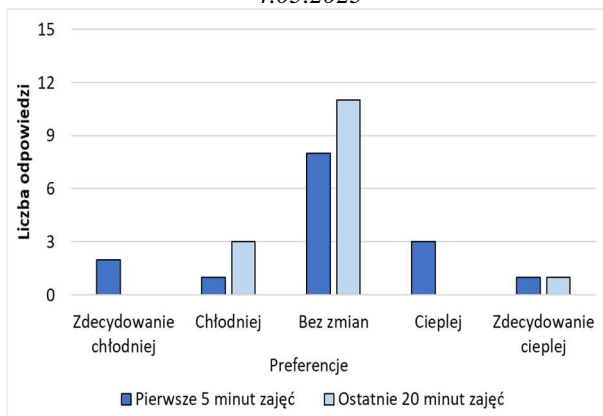
Odpowiedzi ankietowanych dotyczące oceny komfortu w pomieszczeniu i warunków wpływających na jakość pracy przedstawiono na Rys. 85 i Rys. 86



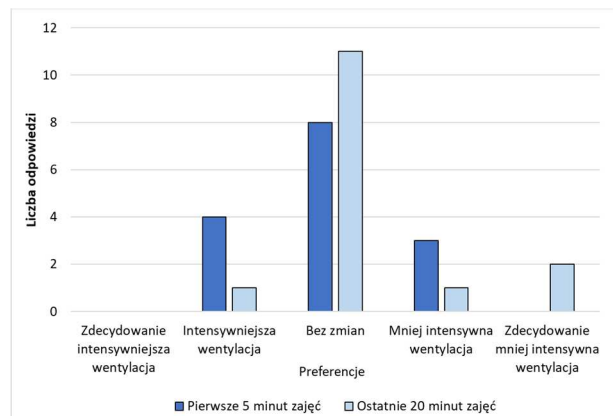
Rys. 85 Odczucie komfortu 13:30 -15:00 w dniu 4.03.2023



Rys. 86 Wpływ warunków 13:30 -15:00 w dniu 4.03.2023



Rys. 87 Preferencje termiczne 13:30 -15:00 w dniu 4.03.2023



Rys. 88 Preferencje wentylacyjne 13:30 -15:00 w dniu 4.03.2023

87% ankietowanych uznało, że warunki panujące podczas pierwszych 5 minut zajęć są „Raczej komfortowe” albo „Zdecydowanie komfortowe”. W trakcie ostatnich 20 minut odsetek ten spadł osiągając 60% osób w poczuciu komfortu. „Raczej niekomfortowo” czuło się 13% obecnych na początku zajęć i 40% podczas ostatnich 20 minut, a więc nastąpił wzrost o 27 punktów procentowych.

W większości przypadków, wpływ warunków został oceniony jako „Neutralny”, przy czym 87% respondentów stwierdziło to w ciągu pierwszych 5 minut, a 73% w ciągu ostatnich 20 minut. „Negatywny wpływ” warunków w trakcie pierwszych 5 minut zajęć został zauważony przez 13%. W czasie ostatnich 20 minut zajęć, 14% uczestników (2 osoby) określiło wpływ jako "Dość zły" i "Negatywny wpływ". Natomiast dwóch respondentów w tym samym okresie czasu zauważyło, że warunki miały „Pozytywny wpływ”.

- Preferencje termiczne i wentylacyjne

Odpowiedzi ankietowanych dotyczące preferencji termicznych i wentylacyjnych przedstawiono na Rys. 87 i Rys. 88

W okresie pierwszych 5 minut zajęć, 53% ankietowanych oceniło, że temperatura w sali nie wymagała regulacji, podczas gdy prawie 20% wyraziło preferencję na korzyść niższej temperatury (w tym 13% zdecydowanie chłodniej). W ostatnich 20 minutach „Neutralna” ocena temperatury wzrosła o 20 punktów procentowych, osiągając poziom 73%. W tym samym czasie, 20% respondentów wyraziło preferencję na korzyść niższej temperatury, przy czym żaden z nich nie zaznaczył opcji "Zdecydowanie chłodniej". 27% uczestników wyraziło preferencję na korzyść wyższej temperatury, w tym 7% (1 osoba), które wskazało na „Zdecydowanie cieplejsze” warunki w pierwszych 5 minutach zajęć. W trakcie ostatnich 20 minut, tylko 1 osoba oczekiwałaby "Zdecydowanie cieplejszej" temperatury w sali.

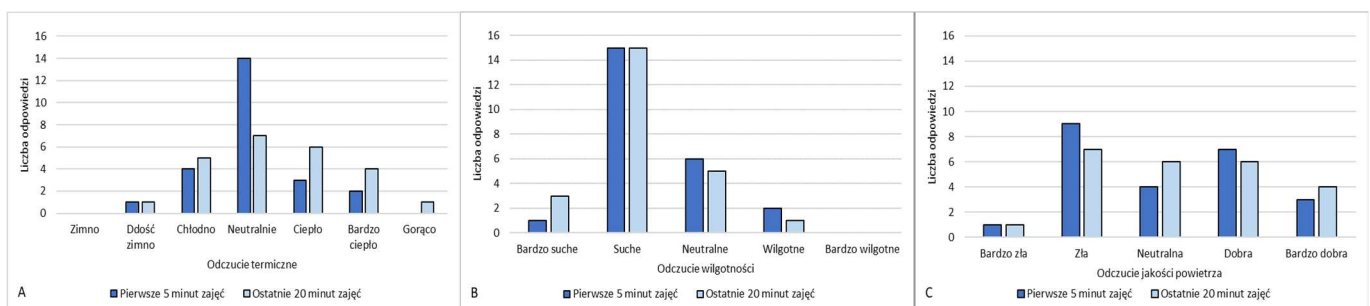
53% ankietowanych nie chciało zmian poziomu wentylacji w czasie pierwszych 5 minut zajęć, wartość ta wzrosła o 20 punktów procentowych w trakcie i w ciągu ostatnich 20 minut wyniosła 73%. 20% osób chciało, by w ciągu ostatnich 20 minut zajęć wentylacja była mniej intensywna, z czego 13% oczekiwało, by była „Zdecydowanie mniej intensywna”.

„Intensywniejszej” i „Zdecydowanie intensywniejszej” wentylacji oczekiwało około 27% ankietowanych w czasie pierwszych 5 minut, a 7% w czasie ostatnich 20 minut.

W tabeli Tab. 0.9 przedstawiono wyniki pomiarów wykonane w trakcie trwania badania ankietowego.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność jakość powietrza

Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona przez 24 ankietowanych co stanowi 89%, a wyniki zaprezentowano na Rys. 89.



Rys. 89 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C o 13:30-15:00 w dniu 4.03.2023

Na początku zajęć, 58% uczestników uważało, że temperatura jest „Neutralna”. W ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten spadł o 27% i wyniósł 29%. Wzrósł udział odpowiedzi: „Ciepło” „Bardzo ciepło” i „Gorąco” (46%).

W zakresie wilgotności, ponad 60% ankietowanych uznało, że powietrze w trakcie zajęć było suche.

Jakość powietrza w ciągu pierwszych 5 minut została oceniona „Neutralnie” przez 17% ankietowanych, 29% uznało, że jest „Dobra” a 13%, że jest „Bardzo dobra”. 38% oceniło jakość powietrza jako „Złą”, a 4% jako „Bardzo złą”. W trakcie ostatnich 20 minut „Neutralnie” oceniło 25% ankietowanych, 25% oceniło ją jako „Dobłą”, 17% jako „Bardzo dobrą”, 29% jako „Złą” i 4% jako „Bardzo złą”.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały zestawione w Tab. 0.9.

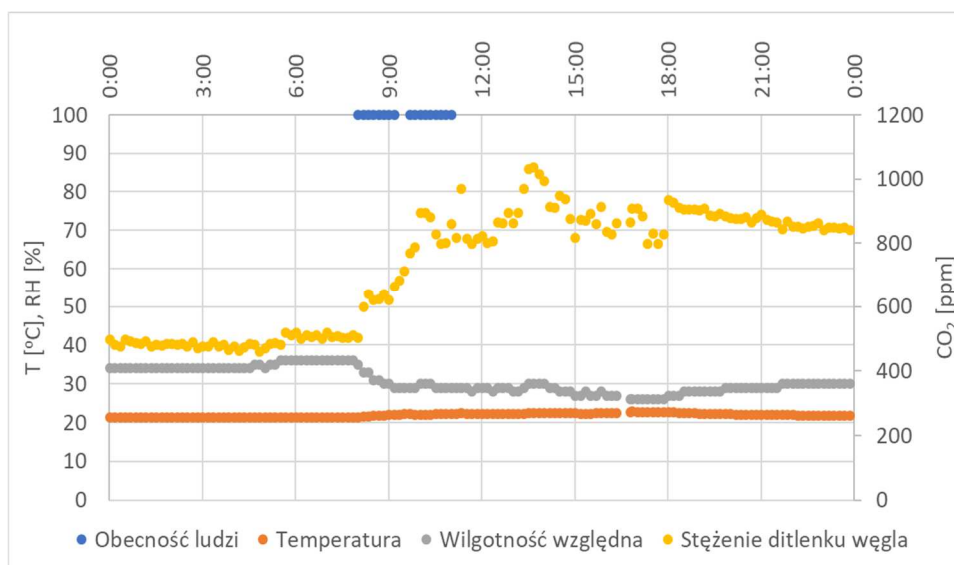
Tab. 0.9 Dane pomiarowe dla jednostki 13:30-15:00 w dniu 4.03.2023

Czas pomiarów	Cała jednostka 13:30-15:00			Pierwsze 5 minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
Mierzony parametr	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	23.25	970	29	23.00	985	29	23.50	920	29
Średnia	23.25	968.80	29.10						
Odch.Stand.	0.12	64.81	0.57						

W trakcie zajęć nastąpił wzrost temperatury o 0,5K, stężenie ditlenku węgla mieściło się w przedziale między 900 a 999ppm. Średnio wynosiło 968ppm (mediana 970ppm). Wilgotność względna była stała i wynosiła 29%.

2.2.3. 7 marca 2022

W dniu 7 marca 2022 w badanym pomieszczeniu otrzymano zwrot 31 ankiet po zajęciach, które odbywały się w godzinach od 8:00-9:30 oraz 9:45 do 11:15. Przerwa między zajęciami trwała 15 minut. Okna pozostawały zamknięte. Wiek wszystkich ankietowanych osób, poza jedną (25-35 lat), mieścił się w przedziale 18-25 lat. Na Rys. 90 przedstawiono przebieg parametrów w ciągu całej doby.



Rys. 90 Przebieg parametrów powietrza w dniu 7.03.2022

2.2.3.1. 08:00 do 09:30 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

W przeprowadzonym badaniu ankietowym udział wzięło 13 respondentów, z których 11 to kobiety, a 2 to mężczyźni

Podczas zajęć główną aktywnością było wykonywanie czynności siedzących, takich jak słuchanie, pisanie ręczne lub na komputerze. W ciągu pierwszych 5 minut, tylko jeden ankietowany stał, pozostali znajdowali się w pozycji siedzącej, pisali ręcznie lub na laptopie. Odsetek osób aktywnych fizycznie w ostatnich 20 minutach zajęć nie zmienił się. 2 ankiety nie mają wypełnionej części dotyczącej aktywności.

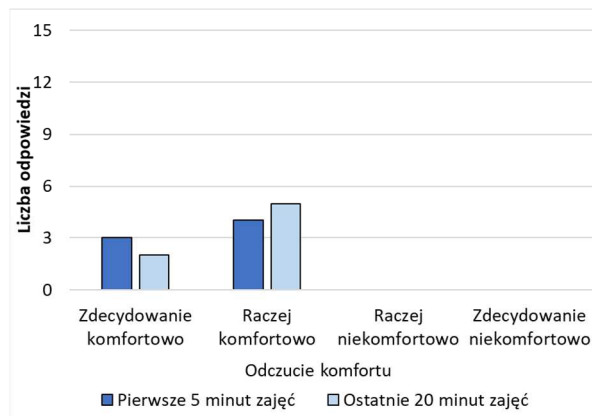
Podczas pobytu w sali ankietowani zgłosili: 1 raz zdjęcie warstwy ubrania, 1 raz nałożenie warstwy ubrania, 1 raz podniesienie nastawy temperatury i 1 osoba zmieniła miejsce w sali.

W czasie zajęć większość uczestników miała na sobie długie spodnie, bluzkę z długim rękawem lub t-shirt oraz bluzę.

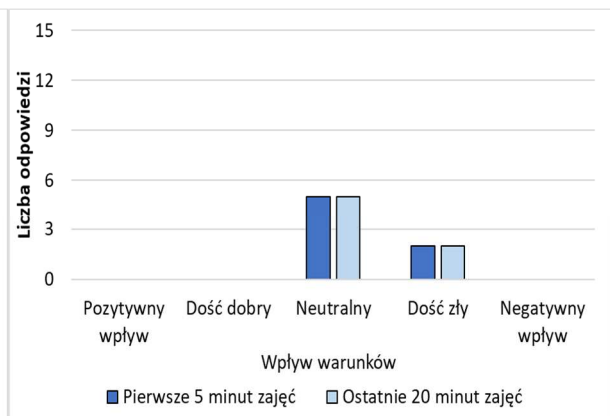
Spośród 13 ankiet, 7 (54%) zawierających ogólną ocenę komfortu, warunków pomieszczenia i preferencji użytkowników (pytania 6 i 7) zostały poprawnie wypełnione (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) i stanowią przedmiot dalszej analizy. Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) przez 12 ankietowanych.

- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

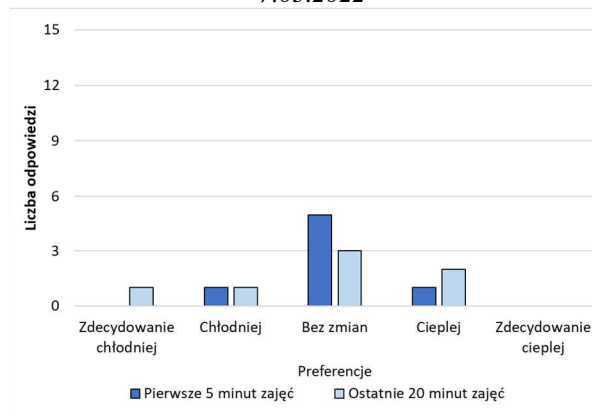
Odpowiedzi ankietowanych dotyczące oceny komfortu w pomieszczeniu i warunków wpływających na jakość pracy przedstawiono na Rys. 91 i Rys. 92.



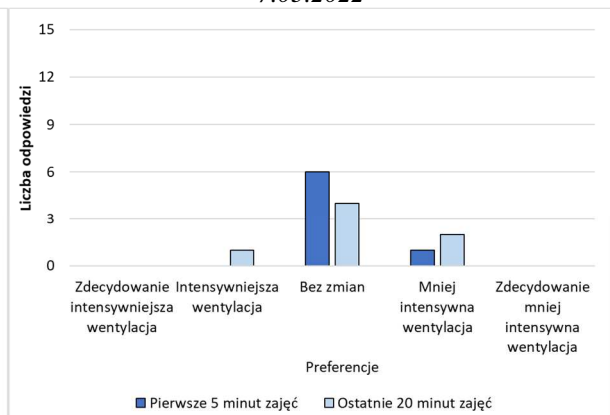
Rys. 91 Odczucie komfortu 08:00 -09:30 w dniu 7.03.2022



Rys. 92 Wpływ warunków 08:00 -09:30 w dniu 7.03.2022



Rys. 93 Preferencje termiczne 08:00 -09:30 w dniu 7.03.2022



Rys. 94 Preferencje wentylacyjne 08:00 -09:30 w dniu 7.03.2022

57% ankietowanych uznało, że warunki panujące podczas pierwszych 5 minut zajęć są „Raczej komfortowe”, w trakcie ostatnich 20 minut odsetek ten wzrósł osiągając 71% osób w poczuciu komfortu. Pozostałe osoby czuły się „Zdecydowanie komfortowo”.

W większości przypadków (71%) wpływ warunków został oceniony jako „Neutralny”, zarówno na początku jak i na końcu zajęć. Pozostali określili wpływ warunków jako "Dość zły".

- Preferencje termiczne i wentylacyjne

Odpowiedzi ankietowanych dotyczące preferencji termicznych i wentylacyjnych przedstawiono na Rys. 93 i Rys. 94.

W okresie pierwszych 5 minut zajęć, 71% ankietowanych oceniło, że temperatura w sali nie wymagała regulacji, 14% (1 osoba) wyraziło preferencję na korzyść zdecydowanie niższej temperatury. 1 osoba oczekiwałaby, żeby w pomieszczeniu było cieplej.

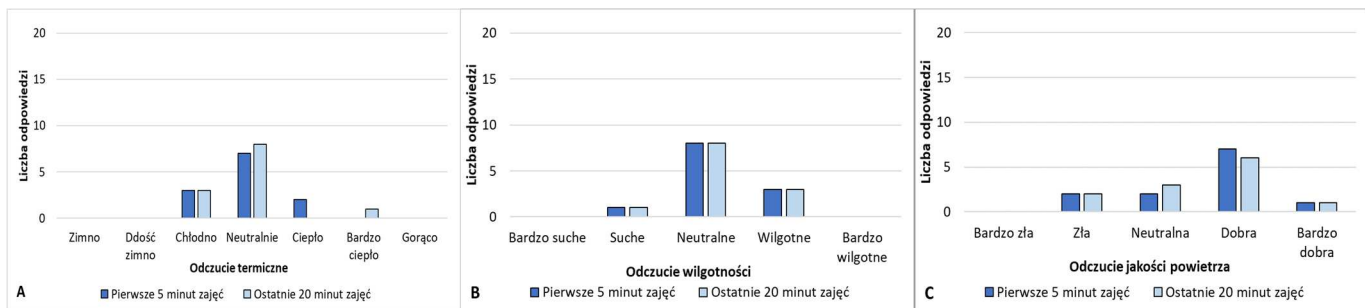
O 13 punktów procentowych spadła „Neutralna” ocena temperatury, osiągając 43% w ostatnich 20 minutach. W ostatnich 20 minutach zajęć 14% ankietowanych (1 osoba) oczekiwałoby, żeby w sali było chłodniej, a 14% by było zdecydowanie chłodniej. W trakcie ostatnich 20 minut 2 osoby wyraziły preferencję na korzyść "Zdecydowanie cieplejszej" temperatury.

86% ankietowanych nie chciało zmian poziomu wentylacji w czasie pierwszych 5 minut zajęć, wartość ta spadła o 13 punktów procentowych w trakcie zajęć, a w ciągu ostatnich 20 minut wyniosła 57%. 29% osób chciało, żeby w ciągu ostatnich 20 minut wentylacja była „Mniej intensywna” a 14% oczekiwałoby, by była „Intensywniejsza”.
W

Tab. 0.10 przedstawiono wyniki pomiarów wykonane w trakcie trwania badania ankietowego.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność, jakość powietrza

Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona przez 12 ankietowanych co stanowi 92%, wyniki zaprezentowano na Rys. 95.



Rys. 95 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C o 08:00-09:30 w dniu 7.03.2023

Na początku zajęć 58% uczestników uważało, że temperatura jest „Neutralna”. W ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten wzrósł o 4 punkty procentowe i wyniósł 67%. 25% ankietowanych, w ciągu pierwszych 5 minut uważało, że w sali było „Chłodno”, a 17%, że „Ciepło”. W trakcie ostatnich 20 minut udział odpowiedzi „Chłodno” nie zmienił się. 8% (1 osoba) uważało, że w sali jest bardzo ciepło.

W zakresie wilgotności, ponad 67% ankietowanych uznało, że powietrze w trakcie zajęć było „Neutralne”, 8% że było „Suche”, a 25%, że „Wilgotne”.

Jakość powietrza w ciągu pierwszych 5 minut została oceniona „Neutralnie” przez 17% ankietowanych, 58% uznało, że jest „Dobra”, a 8% że jest „Bardzo dobra”. Pozostali (17%) ocenili jakość powietrza jako „Złą”. W trakcie ostatnich 20 minut „Neutralnie” jakość powietrza oceniło 25% ankietowanych, 50% jako „Dobłą”, 8% jako „Bardzo dobrą”, a 17% jako „Złą”.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały zestawione w

Tab. 0.10.

Tab. 0.10 Dane pomiarowe dla jednostki 08:00-09:30 w dniu 7.03.2023

Czas pomiarów	Cała jednostka 08:00-09:30			Pierwsze 5 minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
Mierzony parametr	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	21.75	623	31	21.25	504	35	22.00	663	29
Średnia	21.6875	614.25	31.50						
Odch.Stand.	0.26	48.20	2.00						

W trakcie zajęć nastąpił wzrost temperatury o 0,75K, stężenie ditlenku węgla wzrosło o 159ppm. Wilgotność względna na początku wynosiła 35% i spadła do 29% na końcu.

2.2.3.2. 09:45 do 11:15 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

W przeprowadzonym badaniu ankietowym udział wzięło 18 respondentów, z których 12 to kobiety, a reszta to mężczyźni

Podczas zajęć główną aktywnością było wykonywanie czynności siedzących, takich jak słuchanie, pisanie ręczne lub na komputerze. W ciągu pierwszych 5 minut jeden ankietowany stał, 3 chodziło, pozostali znajdowali się w pozycji siedzącej i pisali ręcznie lub na laptopie. 20 minut przed końcem wszyscy obecni znajdowali się w pozycji siedzącej – słuchali lub pisali.

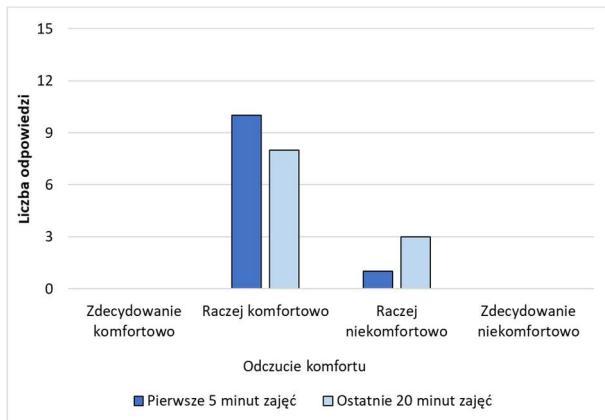
Ankietowani zgłosili: 1 raz zdjęcie warstwy ubrania, 1 raz nałożenie warstwy ubrania, 1 raz podniesienie nastawy temperatury i 1 osoba zmieniła miejsce w sali.

W czasie zajęć większość uczestników miała na sobie długie spodnie, bluzkę z długim rękawem lub t-shirt oraz bluzę.

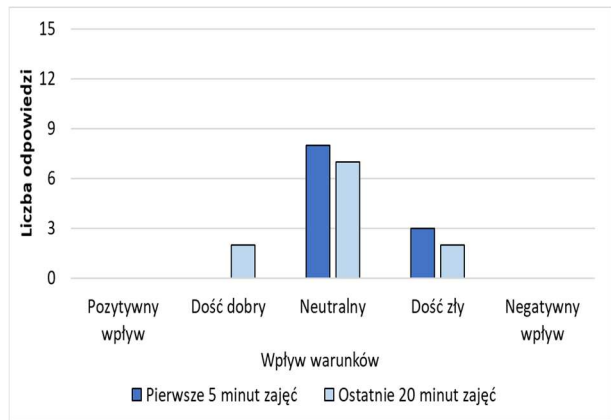
Spośród 18 ankiet, 11 (61%) zawierających ogólną ocenę komfortu, warunków pomieszczenia i preferencji użytkowników (pytania 6 i 7) zostały poprawnie wypełnione (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) i stanowią przedmiot dalszej analizy. Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) przez wszystkich ankietowanych.

- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

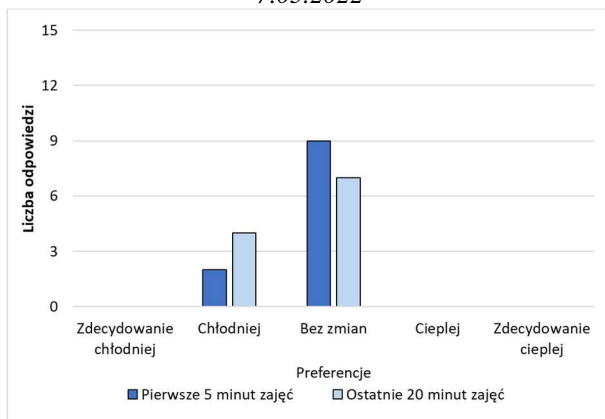
Odpowiedzi ankietowanych dotyczące oceny komfortu w pomieszczeniu i warunków wpływających na jakość pracy przedstawiono na Rys. 96 i Rys. 97



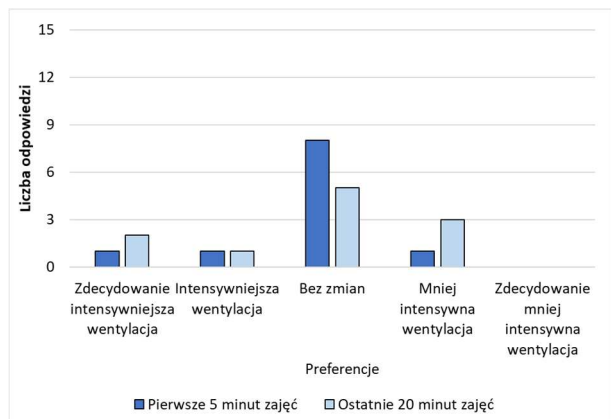
Rys. 96 Odczucie komfortu 09:45 -11:15 w dniu 7.03.2022



Rys. 97 Wpływ warunków 09:45 -11:15 w dniu 7.03.2022



Rys. 98 Preferencje termiczne 09:45 -11:15 w dniu 7.03.2022



Rys. 99 Preferencje wentylacyjne 09:45 -11:15 w dniu 7.03.2022

91% ankietowanych uznało, że warunki panujące podczas pierwszych 5 minut zajęć są „Raczej komfortowe”. W trakcie ostatnich 20 minut odsetek ten spadł o 20 punktów procentowych i osiągnął 73% osób w poczuciu komfortu. Pozostałe osoby czuły się „Raczej niekomfortowo”.

W większości przypadków (73%) wpływ warunków na początku zajęć został oceniony jako „Neutralny”, pozostałe osoby oceniły go jako „Dość zły”. Na końcu „Neutralnie” oceniało warunki 64% obecnych. 18% respondentów opisało wpływ warunków jako „Dość zły” w czasie ostatnich 20 minut, a równocześnie 18% uznało je za „Dość dobre”.

- Preferencje termiczne i wentylacyjne

Odpowiedzi ankietowanych dotyczące preferencji termicznych i wentylacyjnych przedstawiono na Rys. 98 i Rys. 99

W okresie pierwszych 5 minut zajęć, 82% ankietowanych oceniło, że temperatura w sali nie wymagała regulacji, 18% (2 osoby) oczekiwałoby, żeby było „Chłodniej”.

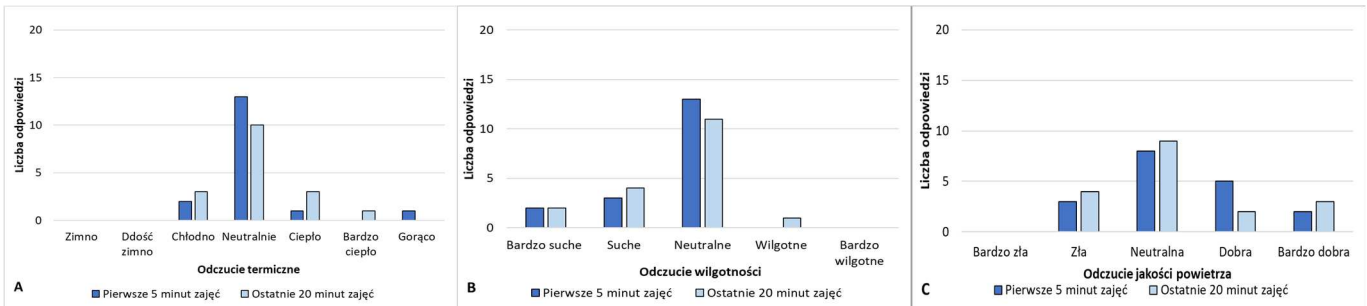
„Neutralna” ocena temperatury spadła o 13 punktów procentowych, osiągając poziom 64% w ostatnich 20 minutach. W ciągu ostatnich 20 minut 36% ankietowanych oczekiwałoby, żeby było „Chłodniej”.

73% ankietowanych nie chciało zmian poziomu wentylacji w czasie pierwszych 5 minut. Wartość ta spadła o 20 punktów procentowych w trakcie zajęć i w ciągu ostatnich 20 minut wyniosła 45%. Mniej intensywnej wentylacji w ciągu pierwszych 5 minut oczekiwało 9% ankietowanych (1 osoba) i 27% obecnych w ostatnich 20 minutach. 18% ankietowanych chciałoby, żeby wentylacja na początku była „Intensywniejsza” i „Zdecydowanie intensywniejsza”. Na końcu zajęć „Intensywniejszej” wentylacji oczekiwałoby 9% respondentów, a 18% preferowałoby „Zdecydowanie intensywniejszą wentylację”.

W Tab. 0.11 przedstawiono wyniki pomiarów wykonane w trakcie trwania badania ankietowego.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność jakość powietrza

Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona przez 18 ankietowanych co stanowi 100%, a wyniki zaprezentowano na Rys. 100.



Rys. 100 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C o 09:45-11:15 w dniu 7.03.2023

Na początku zajęć 76% uczestników uważało, że temperatura jest neutralna, 6% oceniło ją jako „Chłodno”, a 12%, że jest „Ciepło”. W trakcie ostatnich 20 minut 59% uważało, że temperatura jest neutralna, 18%, że jest „Chłodno”, 18%, że jest „Ciepło”, a 6% że jest „Bardzo ciepło”.

W zakresie wilgotności ponad 72% ankietowanych stwierdziło, że wilgotność względna powietrza w trakcie pierwszych 5 minut zajęć była „Neutralna”, 17% uznało, że powietrze było „Suche”, a 11%, że „Bardzo suche”. W ciągu ostatnich 20 minut, 61% uznało wilgotność względną za „Neutralną”, według 22% powietrze było „Suche” a 11% osób uznało je za „Bardzo suche”.

Jakość powietrza w ciągu pierwszych 5 minut została oceniona „Neutralnie” przez 44% ankietowanych, 28% uznało, że jest „Dobra”, a 11% że jest „Bardzo dobra”. Pozostali (17%) ocenili jakość powietrza jako „Złą”. W trakcie ostatnich 20 minut 50% ankietowanych oceniło „Neutralnie” jakość powietrza, 11% oceniło ją jako „Dobłą”, 17% jako „Bardzo dobrą” a 22% jako „Złą”.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów przedstawiono w Tab. 0.11

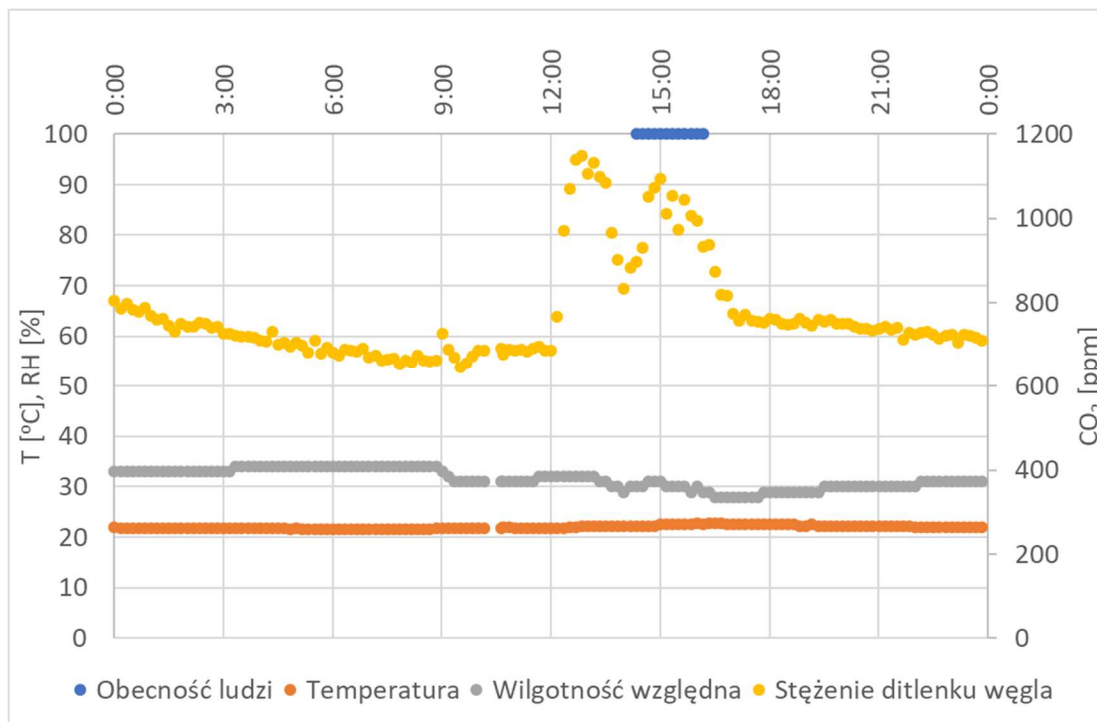
Tab. 0.11 Dane pomiarowe dla jednostki 09:45-11:15 w dniu 7.03.2023

Czas pomiarów	Cała jednostka 08:00-09:30			Pierwsze 5minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
Mierzony parametr	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	22.25	821.5	29	22.00	786	29	22.25	816	29
Średnia	22.15	832.40	29.30						
Odch.Stand.	0.13	46.76	0.48						

W trakcie zajęć temperatura utrzymywała się na stałym poziomie około 22°C, stężenie ditlenku węgla nieznacznie wzrosło (o 30 ppm). Wilgotność względna była stała i wynosiła 29%.

2.2.4. 13 kwietnia 2022

W dniu 13 kwietnia 2022 badania ankietowe odbyły się w godzinach od 14:20 do 16:10. Ogółem tego dnia oddano 12 ankiet. Wiek wszystkich osób mieścił się w przedziale 18-25 lat. W sali przebywało 8 kobiet, 3 mężczyzn, 1 osoba nie chciała ujawnić płci. Na Rys. 101 przedstawiono przebieg parametrów w ciągu całej doby.



Rys. 101 Przebieg parametrów powietrza w dniu 13.04.2022

2.2.4.1. 14:20 do 16:10 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

Oddano 12 ankiet. Wiek wszystkich osób mieścił się w przedziale 18-25 lat. W sali przebywało 8 kobiet, 3 mężczyzn, 1 osoba nie chciała ujawnić płci.

Podczas zajęć główną aktywnością było wykonywanie czynności siedzących, takich jak słuchanie, pisanie ręczne lub na komputerze. Podczas ostatnich 20 minut, 1 ankietowany stał i mówił, 3 ankietowanych nie wypełniło tej części ankiety.

W czasie pobytu w sali ankietowani zgłosili: 1 raz otwarcie okna (brak informacji w danych przesyłanych z kontaktorów okiennych do systemu zarządzania budynkiem BMS – Building Management System). Według danych z systemu BMS okna były zamknięte przez cały czas. W trakcie pobytu w sali zgłoszono: 5 razy zdjęcie warstwy ubrania, 3 razy nałożenie warstwy ubrania, 1 raz podniesienie/zmniejszenie przesłonięcia żaluzji okiennych, 1 osoba zmieniła miejsce w sali.

Większość uczestników miała na sobie długie spodnie, bluzkę z długim rękawem lub t-shirt oraz bluzę.

Spośród 12 ankiet, 4 (33%) zawierających ogólną ocenę komfortu, warunków pomieszczenia i preferencji użytkowników (pytania 6 i 7) zostały poprawnie wypełnione (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć). Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) przez 11 (92%) ankietowanych.

- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

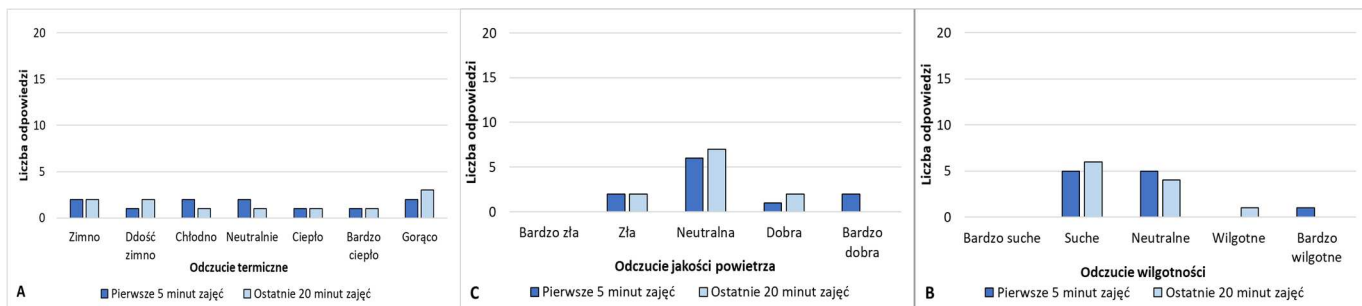
Tylko 4 uczestników, co stanowi 33% całej grupy respondentów, właściwie uzupełniło tę część ankiety. Jest to próba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Preferencje termiczne i wentylacyjne

Tylko 4 uczestników, co stanowi 33% całej grupy respondentów, właściwie uzupełniło tę część ankiety. Jest to próba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność jakość powietrza

Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona przez 11 ankietowanych co stanowi 92%, a wyniki zaprezentowano na Rys. 102.



Rys. 102 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C o 14:20-16:10 w dniu 13.04.2023

Liczba zebranych ankiet jest niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały zestawione w Tab. 0.12

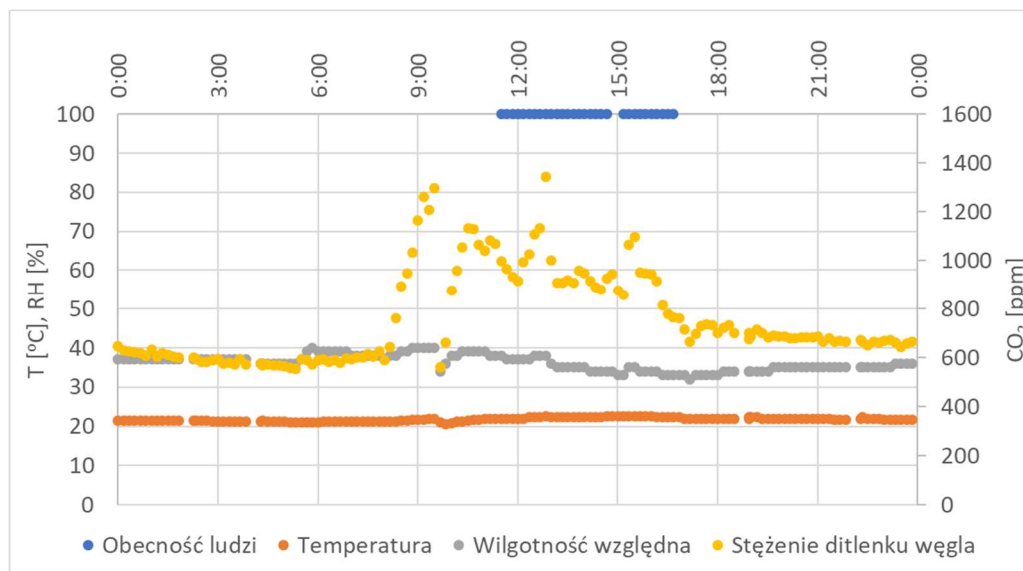
Tab. 0.12 Dane pomiarowe dla jednostki 09:45-11:15 w dniu 7.03.2023

Czas pomiarów	Cała jednostka 08:00-09:30			Pierwsze 5 minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
Mierzony parametr	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	22.50	1009.00	30.00	22.25	930	30	22.50	933	29
Średnia	22.44	1005.00	30.08						
Odch.Stand.	0.16	61.92	0.67						

W trakcie zajęć temperatura utrzymywała się na stałym poziomie około 22°C, stężenie ditlenku węgla na początku i na końcu było takie samo, jednak jego średnia wartość nieznacznie przekraczała 1000ppm (mediana 1009ppm). Wilgotność względna była stała.

2.2.5. 28 kwietnia 2022

W dniu 28 kwietnia 2022 badania ankietowe odbyły się w godzinach od 11:30 do 14:45 oraz od 15:15 do 16:45. Okno było otwarte przez całą noc, aż do godziny 12:30 w południe. Ogółem tego dnia oddano 18 ankiet. Wiek większości osób mieścił się w przedziale 18-25 lat, jedna osoba miała między 25 a 35 lat. W sali przebywało 15 kobiet, 2 mężczyzn, 1 osoba nie chciała ujawnić płci. Na Rys. 103 przedstawiono przebieg parametrów w ciągu całej doby.



Rys. 103 Przebieg parametrów powietrza w dniu 28.04.2022

2.2.5.1. 11:30 do 14:45 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

Podczas tej jednostki zajęć oddano 7 ankiet z czego tylko 2 zostały wypełnione poprawnie, jest to zbyt mała liczba do przeprowadzenia analizy. Brak informacji o liczbie osób w sali.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały zestawione w Tab. 0.13.

Tab. 0.13 Dane pomiarowe dla jednostki 11:30-14:45 w dniu 13.04.2022

Czas pomiarów	Cała jednostka 11:30-14:45			Pierwsze 5minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
Mierzony parametr	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	22.25	940	35.5	22.00	998	38	22.50	933.5	34
Średnia	22.2125	978.25	35.95						
Odch.Stand.	0.15	109.25	1.50						

W trakcie zajęć temperatura wzrosła o 0.5K .

Stężenie ditlenku węgla początkowo wynosiło 998ppm, o godzinie 12:50 wzrosło do wartości maksymalnej wynoszącej 1342ppm, a następnie spadło do 933ppm. Tego dnia w badanym pomieszczeniu zajęcia odbywały się od godziny 8:00. Do godziny 12:30 było otwarte okno, co spowodowało dezaktywację systemu wentylacji. Po godzinie 12:30 osiągnięto maksymalne stężenie CO₂, zamknięto okno i jakość powietrza zaczęła się poprawiać, by na końcu stężenie ditlenku węgla w powietrzu osiągnęło poziom 933,5ppm (64,5 ppm mniej niż na początku). Poprawa jakości powietrza była skutkiem automatycznego załączenia systemu wentylacji.

Wilgotność względna w trakcie zajęć obniżyła się z 38% do 34% na końcu zajęć.

2.2.5.2. 15:15 do 16:45 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

Oddano 11 ankiet. Wiek wszystkich osób mieścił się w przedziale 18-25 lat. W sali przebywało 8 kobiet, 2 mężczyzn, 1 osoba nie chciała ujawnić płci.

Podczas zajęć główną aktywnością było wykonywanie czynności siedzących, takich jak słuchanie, pisanie ręczne lub na komputerze. Podczas ostatnich 20 minut, 1 ankietowany stał i mówił, 2 ankietowanych nie wypełniło tej części ankiety, pozostali znajdowali się w pozycji siedzącej (słuchali, lub pisali).

Podczas pobytu w sali ankietowani zgłosili dwukrotnie otwarcie okna. Według danych z systemu BMS w trakcie tej jednostki zajęć okna były zamknięte przez cały czas. W sali zgłoszono: 5 razy zdjęcie warstwy ubrania, 2 razy załączenie oświetlenia sztucznego, 2 razy wyłączenie oświetlenia sztucznego, 1 raz obniżenie nastawy temperatury, 2 osoby zmieniły miejsce w sali.

W czasie zajęć większość uczestników miała na sobie długie spodnie, t-shirt oraz bluzę.

Spośród 11 ankiet, 1 (1%) zawierająca ogólną ocenę komfortu, warunków pomieszczenia i preferencji użytkowników (pytania 6 i 7) została poprawnie wypełniona (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć). Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) przez 10 (91%) ankietowanych.

- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

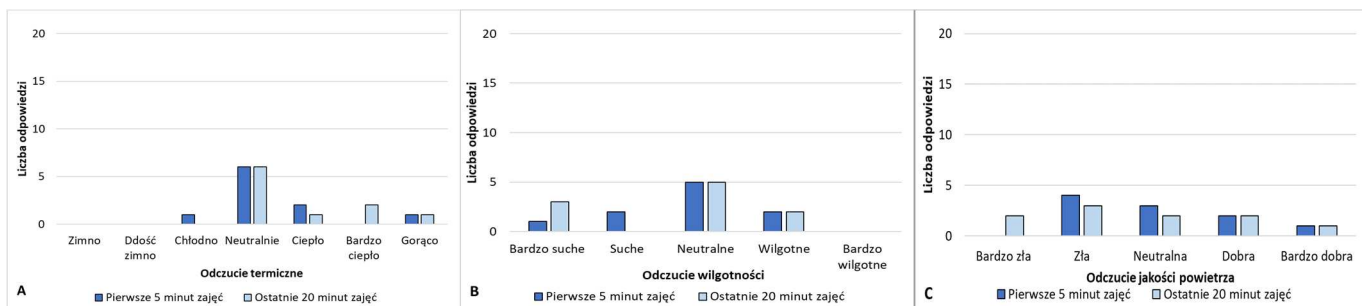
Tylko 1 uczestnik, co stanowi 1% całej grupy respondentów, właściwie uzupełnił tę część ankiety. Jest to próba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Preferencje termiczne i wentylacyjne

Tylko 1 uczestnik, co stanowi 1% całej grupy respondentów, właściwie uzupełnił tę część ankiety. Jest to próba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność, jakość powietrza

Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona przez 10 ankietowanych co stanowi 91%, a wyniki zaprezentowano na Rys. 102.



Rys. 104 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C o 15:15 do 16:45 w dniu 28.04.2022

Liczba zebranych ankiet jest niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały zestawione w Tab. 0.14.

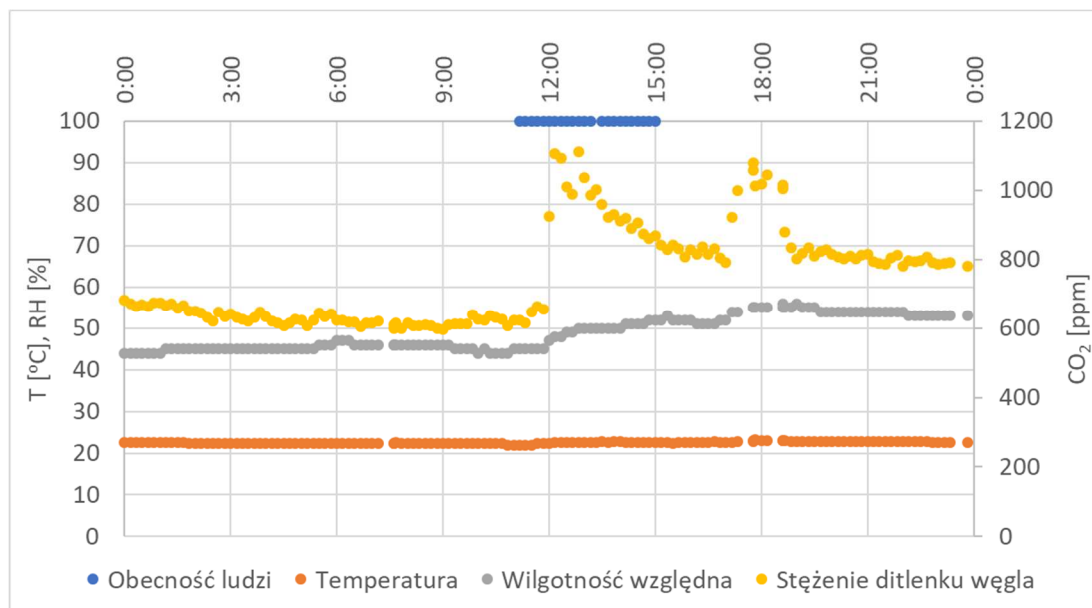
Tab. 0.14 Dane pomiarowe dla jednostki 15:15 do 16:45 w dniu 28.04.2022

Czas pomiarów	Cała jednostka 15:15 do 16:45			Pierwsze 5 minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
Mierzony parametr	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	22.5	915	34	22.50	856	33	22.25	761	33
Średnia	22.39	899.18	33.73						
Odch.Stand.	0.13	115.57	0.79						

W trakcie zajęć temperatura utrzymywała się na stałym poziomie około 22°C. Stężenie ditlenku węgla początkowo wynosiło 856ppm o godzinie 15:30 wzrosło do wartości maksymalnej wynoszącej 1090ppm, następnie zaczęło spadać. Na końcu stężenie ditlenku węgla w powietrzu wynosiło 761ppm (96 ppm mniej niż na początku). Wilgotność względna w trakcie zajęć nieznacznie się obniżyła.

2.2.6. 24 maja 2022

W dniu 24 maja 2022 badania ankietowe odbywały się podczas zajęć w godzinach: od 11:45 do 13: 15 oraz od 13:30 do 15:00. Ogółem tego dnia oddano 21 ankiet, 16 ankiet na jednostce 11:45-13:15, a pozostałe na jednostce 13:30-15:00. Wiek wszystkich osób poza jedną (25-35 lat) mieścił się w przedziale 18-25 lat. W sali tego dnia przebywało 10 kobiet, i 11 mężczyzn. Na Rys. 105 przedstawiono przebieg parametrów w ciągu całej doby.



Rys. 105 Przebieg parametrów powietrza w dniu 24.05.2022

2.2.6.1. 11:45 do 13:15 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

Oddano 16 ankiet. Wiek wszystkich osób poza 1 (25-35 lat) mieścił się w przedziale 18-25 lat. W sali przebywało 9 kobiet i 7 mężczyzn.

Podczas zajęć główną aktywnością było wykonywanie czynności siedzących, takich jak słuchanie, pisanie ręczne lub na komputerze. Podczas pierwszych 5 minut tylko 1 osoba stała i pisała na tablicy, podczas ostatnich 20 minut wzrosła liczba osób stojących, przy czym 5 osób jednocześnie mówiło a 4 ankietowanych pisało na tablicy. 5 ankietowanych chodziło po sali. 3 ankietowanych nie wypełniło informacji o aktywności w trakcie ostatnich 20 minut zajęć.

W czasie pobytu w sali ankietowani zgłosili: trzykrotnie otwarcie okna – zgodnie z danymi przesyłanymi z kontaktorów okiennych do systemu zarządzania budynkiem okno było cały czas zamknięte. Zgłoszono też: 4 razy zdjęcie warstwy ubrania, 2 razy nałożenie warstwy ubrania, 2 razy załączenie oświetlenia sztucznego, 3 razy wyłączenie oświetlenia sztucznego, 3 osoby zmieniły miejsce w sali.

Większość uczestników miała na sobie długie spodnie, t-shirt oraz bluzę.

Spośród 16 ankiet, 7 (43%) zawierających ogólną ocenę komfortu, warunków pomieszczenia i preferencji użytkowników (pytania 6 i 7) zostało poprawnie wypełnionych (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć). Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) przez wszystkich ankietowanych.

- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

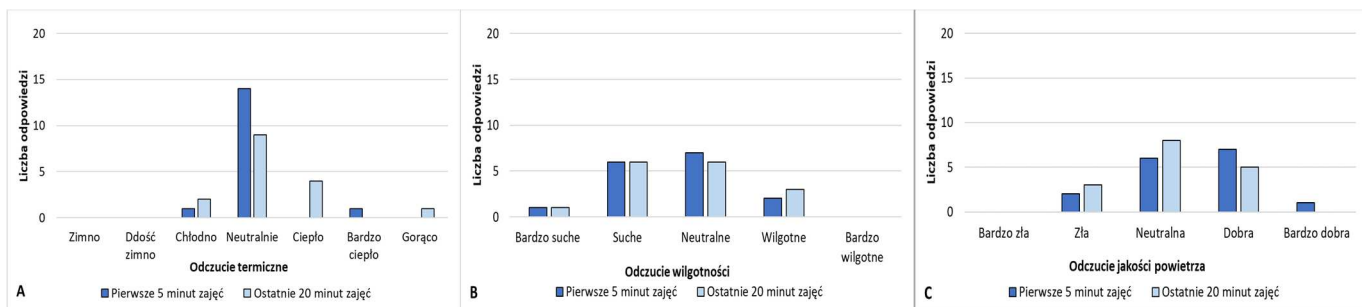
Tylko 7 uczestników, co stanowi 43% całej grupy respondentów, właściwie uzupełnił tę część ankiety. Jest to próba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Preferencje termiczne i wentylacyjne

Tylko 7 uczestników, co stanowi 43% całej grupy respondentów, właściwie uzupełnił tę część ankiety. Jest to próba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność jakoś powietrza

Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona przez 16 ankietowanych co stanowi 100%, a wyniki zaprezentowano na Rys. 106.



Rys. 106 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C o 11:45-13:15 w dniu 24.05.2023

Na początku zajęć 88% uczestników uważała, że temperatura jest „Neutralna”, 6% oceniła ją „Chłodno” i 6%, że jest „Bardzo ciepło”. W ciągu ostatnich 20 minut 56% uważało, że temperatura jest „Neutralna”, 13% że jest „Chłodno”, 25% że „Ciepło”, a 6% że „Gorąco”.

W zakresie wilgotności ponad 44% ankietowanych uznało, że wilgotność względna powietrza w trakcie pierwszych 5 minut zajęć była „Neutralna”, 38% że „Sucha”, 6% że „Bardzo suche”, a 13% uważało, że powietrze było „Wilgotne”. W ciągu ostatnich 20 minut 38% uznało wilgotność względną za „Neutralną”, według 38% powietrze było „Suche, 6% osób uznało je za „Bardzo suche”, a 19% za „Wilgotne”.

Jakość powietrza w ciągu pierwszych 5 minut została oceniona neutralnie przez 38% ankietowanych, 44% uznało, że jest „Dobra”, 6% że jest „Bardzo dobra”, a pozostali (13%) ocenili jakość powietrza jako „Złą”. W trakcie ostatnich 20 minut „Neutralnie” jakość powietrza oceniło 50% ankietowanych, 31% oceniło ją jako „Dobrą”, a 19% jako „Złą”.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały zestawione w Tab. 0.15.

Tab. 0.15 Dane pomiarowe dla jednostki 11:45 do 13:15 w dniu 24.05.2022

Czas pomiarów	Cała jednostka 11:45 do 13:15			Pierwsze 5 minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
Mierzony parametr	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	22.5	999.5	48.5	22.25	664	45	22.50	995	50
Średnia	22.425	957.70	48.10						
Odch.Stand.	0.12	167.75	1.91						

W trakcie zajęć temperatura utrzymywała się na stałym poziomie około 22°C. Stężenie ditlenku węgla wzrosło o 331ppm. Wilgotność względna nieznacznie wzrosła.

2.2.6.2. 13:30 do 15:00 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

Oddano 5 ankiet, jest to liczba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

Oddano 5 ankiet, jest to liczba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Preferencje termiczne i wentylacyjne

Oddano 5 ankiet, jest to liczba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność, jakość powietrza

Oddano 5 ankiet, jest to liczba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały zestawione w Tab. 0.16.

Tab. 0.16 Dane pomiarowe dla jednostki 13:15 do 15:00 w dniu 24.05.2022

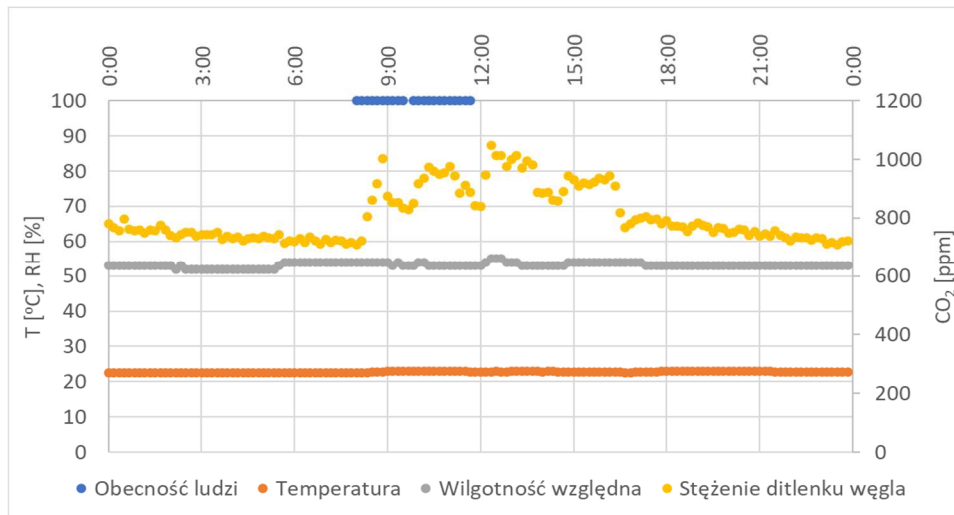
Czas pomiarów	Cała jednostka 11:45 do 13:15			Pierwsze 5 minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
Mierzony parametr	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	22.5	909	51	22.75	959	50	22.50	868	52
Średnia	22.58	904.20	50.80						
Odch.Stand.	0.12	30.80	0.79						

W trakcie zajęć temperatura utrzymywała się na stałym poziomie około 22,5°C. Stężenie ditlenku węgla nieznacznie się obniżyło. Wilgotność względna nieznacznie wzrosła.

2.2.7. 25 maja 2022

W dniu 25 maja 2022 badania ankietowe odbywały się od godziny 8:00 do 09:30 oraz od 09:45 do 11:45. Ogółem tego dnia oddano 25 ankiet, 14 ankiet na pierwszej jednostce, 13 na drugiej. W dwóch jako godzinę rozpoczęcia zajęć wpisano 11:45, z uwagi na brak większej liczby ankiet z tej jednostki nie będą one analizowane.

Wiek 21 osób mieścił się w przedziale 18-25 lat, pozostałych w przedziale 25-35. W sali tego dnia przebywało 21 kobiet, 3 mężczyzn a 1 osoba nie chciała podawać informacji o płci. Na Rys. 107 przedstawiono przebieg parametrów w ciągu całej doby.



Rys. 107 Przebieg parametrów powietrza w dniu 25.05.2022

2.2.7.1. 08:00 do 09:30 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

Oddano 10 ankiet. Wiek 6 ankietowanych mieścił się w przedziale 18-25 lat pozostałych między 25 a 35 lat. W sali przebywało 8 kobiet, 1 mężczyzna, 1 osoba nie chciała ujawnić płci.

Podczas zajęć główną aktywnością było wykonywanie czynności siedzących, takich jak słuchanie, pisanie ręczne lub na komputerze. Połowa ankietowanych nie określiła swojej aktywności w ciągu ostatnich 20 minut, pozostali znajdowali się w pozycji siedzącej (słuchali, lub pisali).

Ankietowani zgłosili: 4 razy zdjęcie warstwy ubrania, 2 razy nałożenie warstwy ubrania, 2 razy załączenie oświetlenia sztucznego, 1 raz wyłączenie oświetlenia sztucznego, 1 osoba zmieniła miejsce w sali.

W czasie zajęć większość uczestników miała na sobie długie spodnie, t-shirt oraz bluzę.

Spośród 10 ankiet, tylko 4 (40%) zawierające ogólną ocenę komfortu, warunków pomieszczenia i preferencji użytkowników (pytania 6 i 7) zostało poprawnie wypełnionych (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć). Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona (ocena parametrów w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć) przez wszystkich ankietowanych.

- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

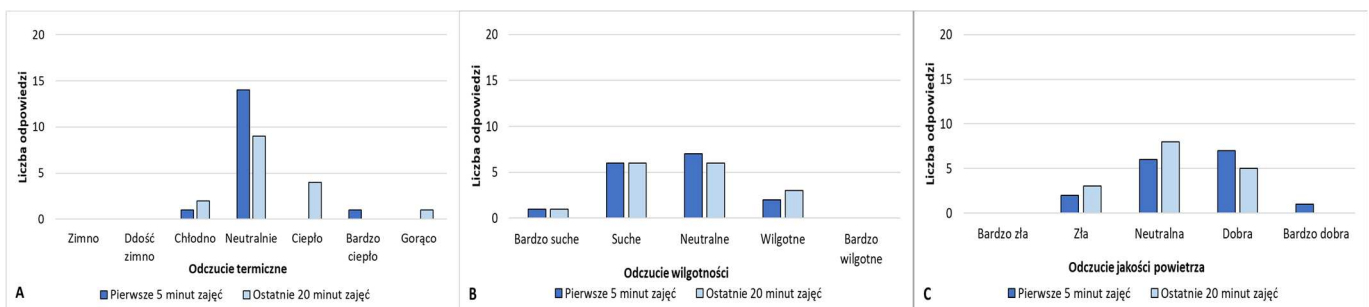
Oddano 4 анкеты, co stanowi 40% wszystkich ankiet i jest to liczba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Preferencje termiczne i wentylacyjne

Oddano 4 анкеты, co stanowi 40% wszystkich ankiet i jest to liczba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność jakoś powietrza

Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona przez 10 ankietowanych co stanowi 100%, a wyniki zaprezentowano na Rys. 106.



Rys. 108 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C o 08:00-09:30 w dniu 25.05.2023

Liczba zebranych ankiet jest niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały zestawione w Tab. 0.17.

Tab. 0.17 Dane pomiarowe dla jednostki 08:00 do 09:30 w dniu 25.05.2022

Czas pomiarów	Cała jednostka 08:00 do 09:30			Pierwsze 5 minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
Mierzony parametr	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	22.75	854	54	22.50	722	54	23.00	832	53
Średnia	22.775	843.20	53.80						
Odch.Stand.	0.22	69.55	0.42						

W trakcie zajęć temperatura wzrosła o 0,5K i na końcu wyniosła 23°C. Stężenie ditlenku węgla wzrosło o 110ppm, wilgotność względna w nieznacznie spadła.

2.2.7.2. 09:45 do 11:45 - wyniki analiz subiektywnych i obiektywnych dla zajęć

- Ocena komfortu oraz wpływu warunków

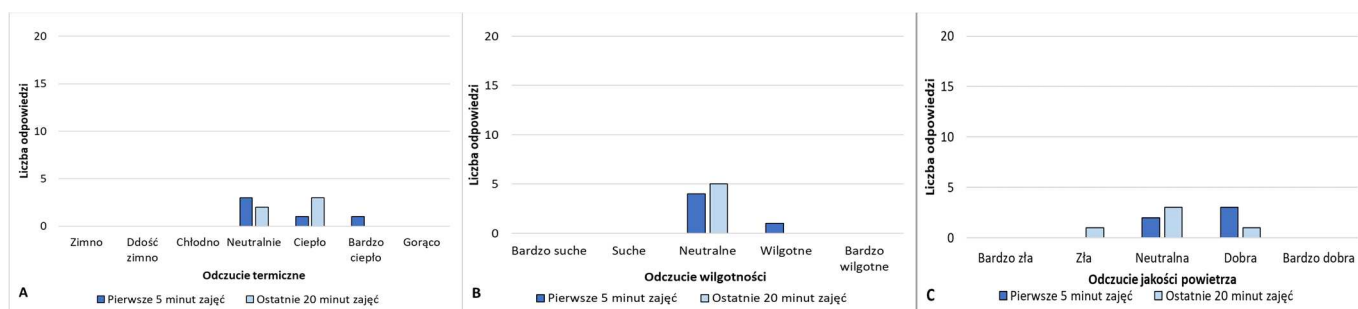
Oddano 4 ankiety, jest to liczba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Preferencje termiczne i wentylacyjne

Oddano 4 ankiety, jest to liczba niewystarczająca do przeprowadzenia analizy.

- Odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność, jakość powietrza

Część dotycząca szczegółowej oceny parametrów w pomieszczeniu została poprawnie wypełniona przez 5 ankietowanych co stanowi 100%, a wyniki zaprezentowano na Rys. 109.



Rys. 109 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C o 09:45-11:15 w dniu 25.05.2023

Zebrana liczba ankiet nie pozwala na przeprowadzenie analizy.

- Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały zestawione w Tab. 0.18

Tab. 0.18 Dane pomiarowe dla jednostki 09:45 do 11:15 w dniu 25.05.2022

Czas pomiarów	Cała jednostka 09:45 do 11:15			Pierwsze 5 minut			Ostatnie 20 minut		
	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna	Temperatura	Stężenie CO ₂	Wilgotność względna
Mierzony parametr	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH	T	C_CO ₂	RH
Jednostka pomiaru	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]	[°C]	[ppm]	[%]
Mediana	23	940	53	23.00	916	54	22.75	864.5	53
Średnia	22.98	928.33	53.17						
Odch.Stand.	0.07	38.60	0.39						

W trakcie zajęć temperatura utrzymywała się na stałym poziomie około 22,5°C, stężenie ditlenku węgla nieznacznie się obniżyło, wilgotność względna nie zmieniała się.

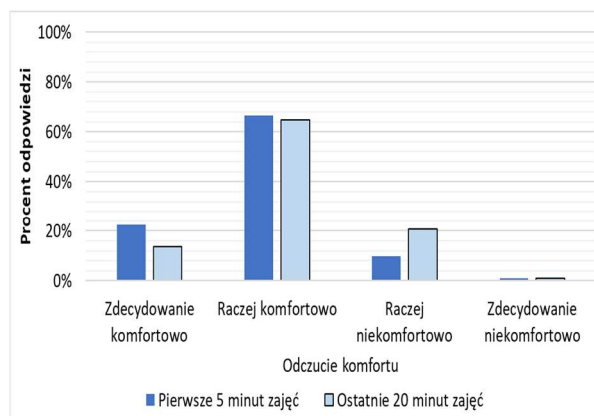
2.2.8. Analiza zbiorcza badania subiektywnego

Podczas 7 dni ankietowych zebrano łącznie 229 ankiet. 169 (74%) ankiet zostało oddanych przez kobiety, 53 przez mężczyzn.

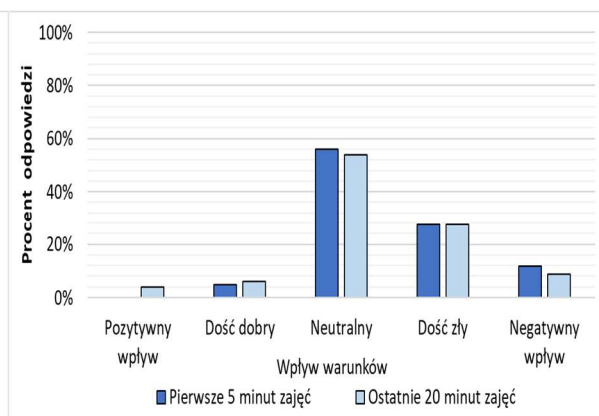
Zauważalna jest różnica w stopniu wypełnienia poszczególnych części ankiety. W zakresie ogólnej oceny parametrów komfortu wewnętrznego (pytania 6 i 7) poprawnie wypełniono 102 ankiety, w zakresie szczegółowej oceny parametrów komfortu klimatycznego (pytanie 8) poprawnie wypełniono 211 ankiet i jest to najlepiej wypełniona część ankiety. Najwięcej ankiet (81) zgromadzono w dniu 4 marca. Różnice w stopniu wypełnienia części dotyczącej ogólnej oceny parametrów oraz szczegółowej oceny parametrów komfortu, wynikają najprawdopodobniej z tego, że w pytaniu ósmym w łatwiejszy i bardziej czytelny sposób należało oznaczyć swoje oceny.

- Ogólna ocena komfortu oraz wpływu warunków

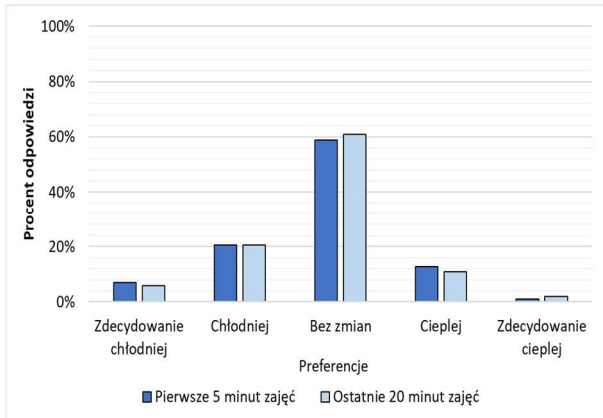
W zakresie ogólnej oceny parametrów komfortu wewnętrznego (pytania 6 i 7) poprawnie wypełniono 102 ankiety. Odpowiedzi ankietowanych, uzyskane ze wszystkich prawidłowo wypełnionych ankiet, przedstawiono na Rys. 110 i Rys. 111



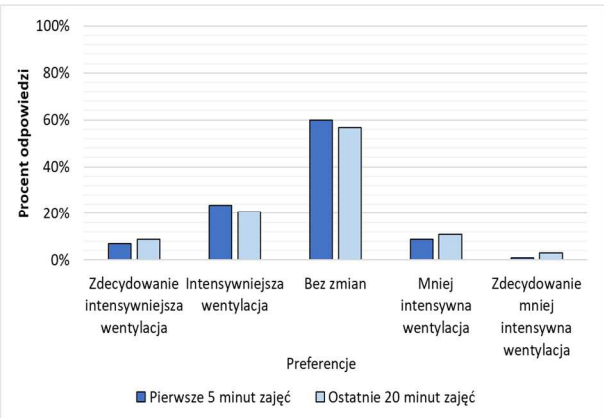
Rys. 110 Odczucie komfortu



Rys. 111 Wpływ warunków



Rys. 112 Preferencje termiczne



Rys. 113 Preferencje wentylacyjne

W całym okresie badań, w trakcie pierwszych 5 minut zajęć, komfortowo czuło się 89% ankieterowanych, w tym 23% czuło się „Zdecydowanie komfortowo”. W ostatnich 20 minutach odsetek ten obniżył się o 11 punktów procentowych, w tym o 9 punktów procentowych w przypadku odpowiedzi „Zdecydowanie komfortowo”. Niekomfortowo w czasie pierwszych 5 minut czuło się 11% ankieterowanych i odsetek ten wzrastał w trakcie trwania zajęć. W ostatnich 20 minutach „Raczej niekomfortowo” czuło się 21% ankieterowanych.

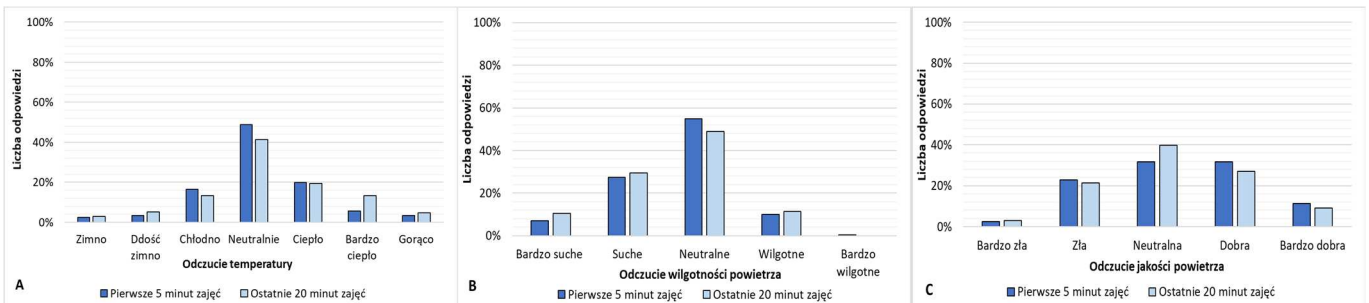
- Ogólne preferencje termiczne i wentylacyjne

Preferencje termiczne przedstawiono na Rys. 112, a wentylacyjne na Rys. 113.

Ogółem około 28% ankieterowanych oczekiwało, żeby w ciągu pierwszych 5 minut zajęć w Sali było „Chłodniej” w tym 7% preferowało „Zdecydowanie chłodniej”. Odsetek ten obniżył się o 1 punkt procentowy (1 osoba) w przypadku odpowiedzi dotyczących oczekiwań termicznych dla ostatnich 20 minut zajęć. 59% osób w trakcie pierwszych 5 minut oraz 61% osób w trakcie ostatnich 20 minut, nie chciałoby zmian warunków w pomieszczeniu. Około 30% ankieterowanych oczekiwało, żeby w ciągu pierwszych 5 i ostatnich 20 minut zajęć była intensywniejsza wentylacja. 10% ankieterowanych w ciągu pierwszych 5 minut i 14% w ciągu ostatnich 20 minut preferowały, wentylację mniej intensywną. Pozostali (60% w ciągu pierwszych 5 minut i 57% w ciągu ostatnich 20 minut) byli zadowoleni z poziomu wentylacji.

- Ogólne odczucie parametrów powietrza: temperatura, wilgotność jakość powietrza

W zakresie szczegółowej oceny parametrów komfortu klimatycznego (pytanie 8) poprawnie wypełniono 211 ankiet. Odpowiedzi ankieterowanych, uzyskane ze wszystkich prawidłowo wypełnionych ankiet, przedstawiono na Rys. 114.



Rys. 114 Odczucie termiczne – A, wilgotności powietrza – B, jakości powietrza – C

29% ankieterowanych uważało, że w ciągu pierwszych 5 minut zajęć w sali jest im za ciepło, w ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten jest wyższy i wynosi 37% - wzrost o 8 punktów procentowych.

22% ankietowanych uważało, że w ciągu pierwszych 5 minut w sali jest im za zimno, w ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten jest nieznacznie niższy i wynosi 21% - spadek o 1 punkt %.

49% ankietowanych uważało, że w ciągu pierwszych 5 minut w sali panowała neutralna temperatura, w ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten jest niższy i wynosi 41% - spadek o 8 punktów procentowych.

35% ankietowanych uważało, że w ciągu pierwszych 5 minut powietrze w sali jest suche (w tym 7% uważało, że jest „Bardzo suche”), w ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten jest wyższy i wynosi 40% (w tym 10% uważało, że jest „Bardzo suche”) - wzrost o 5 punktów procentowych.

10% ankietowanych uważało, że w ciągu pierwszych 5 minut powietrze w sali było wilgotne, w ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten jest nieznacznie wyższy i wynosi 11% - wzrost o 1 punkt %.

55% ankietowanych uważało, że w ciągu pierwszych 5 minut wilgotność sali była neutralna, w ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten jest niższy i wynosił 49% - spadek o 6 punktów procentowych.

43% ankietowanych uważało, że w ciągu pierwszych 5 minut jakość powietrza w sali jest „Dobra” lub „Bardzo dobra”, w ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten jest niższy i wynosi 36% - spadek o 5 punktów procentowych.

25% ankietowanych uważało, że w ciągu pierwszych 5 minut jakość powietrza w sali jest „Zła” lub „Bardzo zła”, w ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten jest niższy i wynosi 24% - spadek o 1 punkt %.

32% ankietowanych uważało, że w ciągu pierwszych 5 minut jakość powietrza sali była neutralna, w ciągu ostatnich 20 minut odsetek ten jest niższy i wynosił 40% - wzrost o 8 punktów procentowych

2.2.9. Analiza zbiorcza ankiet – podsumowanie

W ciągu analizowanego okresu badań, odbywających się w wybranych dniach od marca do maja 2022 przeprowadzono analizy subiektywnych ocen parametrów komfortu wewnętrznego obejmującego, pierwsze 5 minut oraz ostatnie 20 minut zajęć, Zaobserwowano zmiany w subiektywnym odczuciu komfortu termicznego oraz w preferencjach dotyczących warunków termicznych i wentylacyjnych wśród 102 respondentów,

W początkowym etapie badania, 89% uczestników deklarowało odczucie komfortu, z czego 23% zaznaczyło stan „Zdecydowanie komfortowy”, W trakcie ostatnich 20 minut obserwowano spadek tego odsetka o 11 punktów procentowych, przy czym grupa osób odczuwających stan „Zdecydowanie komfortowy” zmniejszyła się o 9 punktów procentowych,

Niezadowolone z komfortu termicznego w pierwszych 5 minutach deklarowało 11% ankietowanych, a odsetek ten wzrastał w miarę trwania zajęć, W ostatnich 20 minutach, 21% respondentów odczuwało stan „Raczej niekomfortowy”, Preferencje termiczne wykazały, że około 28% respondentów oczekiwałoby niższej temperatury na początku zajęć, w tym 7% preferowałoby stan „Zdecydowanie chłodniejszy”, Odsetek ten zmniejszył się o 1 punkt procentowy w kontekście ostatnich 20 minut zajęć. Większość respondentów, zarówno na początku (59%) jak i pod koniec (61%) badania, nie wyrażała chęci zmiany warunków w pomieszczeniu,

W odniesieniu do preferencji wentylacyjnych, 30% ankietowanych oczekiwało intensywniejszej wentylacji zarówno na początku, jak i pod koniec zajęć, 10% uczestników w pierwszych 5 minutach i 14% w ostatnich 20 minutach preferowało mniej intensywną wentylację, Pozostała grupa (60% w pierwszych 5 minutach i 57% w ostatnich 20 minutach) była zadowolona z poziomu wentylacji.

Podsumowując:

Wyniki wskazują na zróżnicowane odczucia respondentów w kontekście komfortu termicznego oraz preferencji dotyczących warunków termicznych i wentylacyjnych, co sugeruje potrzebę zindywidualizowanego podejścia do zagadnień komfortu środowiskowego w badanych warunkach,

Analizując dane ankietowe, z próby 211 ankiet, badających zmiany w subiektywnym odczuciu uczestników dotyczącym jakości środowiska w zamkniętej przestrzeni w ciągu pierwszych 5 minut oraz ostatnich 20 minut, wykazano:

- W kontekście temperatury, zaobserwowano wzrost o 8 punktów procentowych w populacji respondentów odczuwających zbyt wysoką temperaturę, spadek o 1 punkt procentowy w przypadku osób odczuwających zbyt niską temperaturę, oraz spadek o 8 punktów procentowych wśród tych, którzy pierwotnie uznali temperaturę za neutralną,
- W aspekcie wilgotności powietrza zaobserwowano wzrost o 5 punktów procentowych w odsetku respondentów uznających powietrze za suche, ze szczególnym uwzględnieniem tych, którzy ocenili je jako „Bardzo suche”, Dodatkowo, odnotowano niewielki wzrost o 1 punkt procentowy wśród osób, które uznały, że powietrze jest wilgotne, Jednakże, zaobserwowano spadek o 6 punktów procentowych w grupie respondentów oceniających wilgotność jako neutralną,
- W kategorii oceny jakości powietrza, odnotowano spadek o 5 punktów procentowych wśród osób, które pierwotnie uznały ją za „Dobłą” lub „Bardzo dobrą”, a także spadek o 1 punkt procentowy w przypadku tych, którzy ocenili ją jako „Złą” lub „Bardzo złą”, Warto również zaznaczyć wzrost o 8 punktów procentowych w odsetku respondentów, którzy początkowo ocenili jakość powietrza jako neutralną,

Podsumowując:

Wyniki sugerują zmienne odczucia respondentów w zakresie temperatury, wilgotności powietrza i jakości powietrza, ale nie wykazują one jednoznacznej tendencji ku poprawie czy pogorszeniu warunków w badanej przestrzeni,

W dniu 4 marca 2022 zebrano 81 ankiet i jest to dzień z najlepszą zebraną próbą w przeprowadzonych badaniach, W analizowanym dniu okna w pomieszczeniu, w trakcie trwania zajęć dydaktycznych, były zamknięte w związku z czym wszystkie systemy utrzymania komfortu pracowały, Badana sala jest przeznaczona do jednoczesnego przebywania w niej 41 osób, Podczas zajęć rozpoczynających się o 9:45 (pierwsze zajęcia w analizowanym dniu) zebrano 28 ankiet co stanowi 68% maksymalnie dopuszczalnego obciążenia tej Sali, W trakcie zajęć wzrosła temperatura w pomieszczeniu o 0,75K i przekroczyła założoną, projektową temperaturę w pomieszczeniu dla okresu zimowego o 0,5K (wyniosła 22,5°C),

Odczucia uczestników ankiet korelowały z obiektywnymi pomiarami, Wzrost temperatury powietrza przekładał się na poprawę poczucia komfortu respondentów, ale równocześnie pojawiały się sugestie dotyczące konieczności obniżenia temperatury, Jakość powietrza, oceniana poprzez stężenie CO₂, utrzymywała się na zadowalającym poziomie, z niewielkim odsetkiem respondentów sugerujących możliwość poprawy,

System wentylacyjny pracował tak, że utrzymywane było stężenie ditlenku węgla poniżej 1000 ppm,

Podniesienie efektywności systemu wentylacyjnego w celu złagodzenia obciążeń termicznych mogłoby przyczynić się do poprawy odczucia komfortu, ale wiązałoby się to ze zwiększonym zużyciem energii, co przekładałoby się na dodatkowe koszty operacyjne.

2.3. Wyniki badań pomiarowych

Celem oceny parametrów komfortu termicznego, wykonano analizę wyników pomiarów dla dwóch wybranych pomieszczeń o podobnej kubaturze i przeznaczeniu, ale różniących się orientacją ścian zewnętrznych.

W pomieszczeniu północno – wschodnim analizę pomiarów przeprowadzono od 1.10.2021 godzina 00:00 do 30.06.2022 godzina 23:45 czyli przez 6550,5h co stanowi około 273 dni. W tym okresie w pomieszczeniu przebywali ludzie przez 1045,75h co stanowi łącznie około 43,5 dnia.

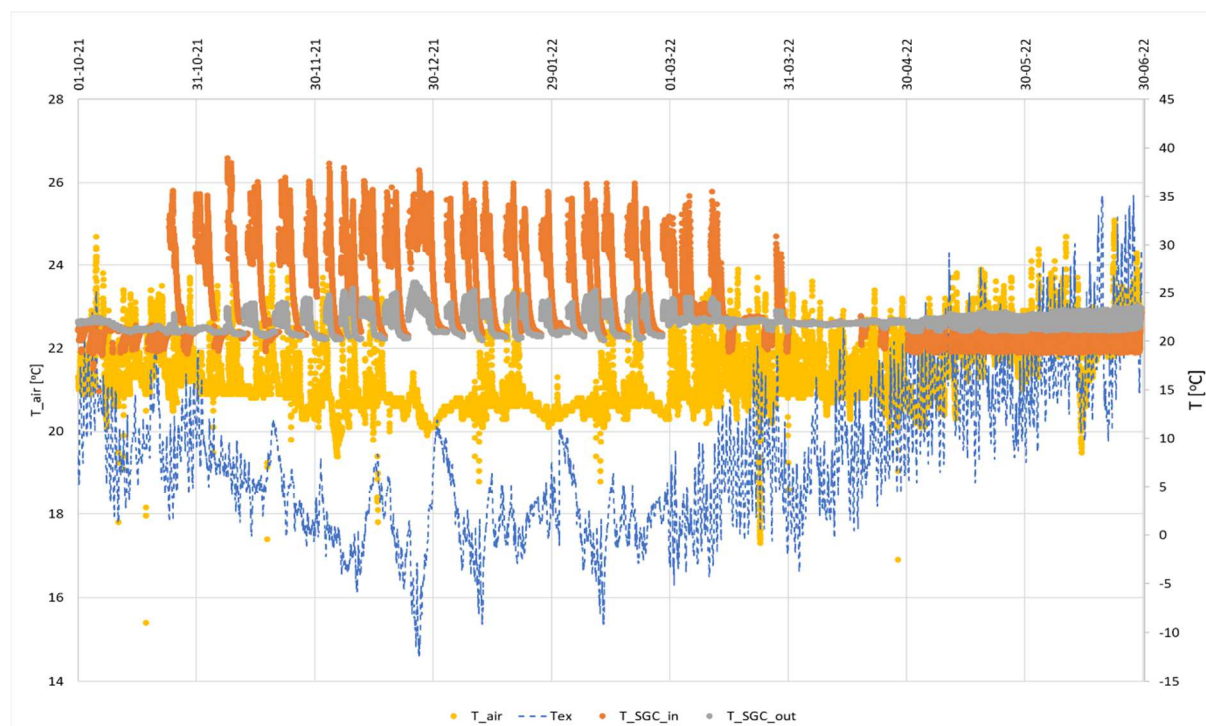
W pomieszczeniu południowo-zachodnim analizę pomiarów przeprowadzono od 01.01.2022 godziny 00:00 do 30.06.2022 godziny 23:45 co stanowi 4343h czyli około 181 dni. W tym okresie w pomieszczeniu przebywali ludzie przez 690h co stanowi łącznie około 28,75 dnia. Tab. 0.19 przedstawia projektowe parametry obliczeniowe dla pomieszczeń dydaktycznych. W okresie grzewczym, zimą, zakłada się temperaturę $20^{\circ}\text{C} \pm 1\text{K}$, w okresie chłodzenia, latem, $24^{\circ}\text{C} \pm 1\text{K}$.

Tab. 0.19 Parametry obliczeniowe dla instalacji ogrzewania/chłodzenia i wentylacji [40]

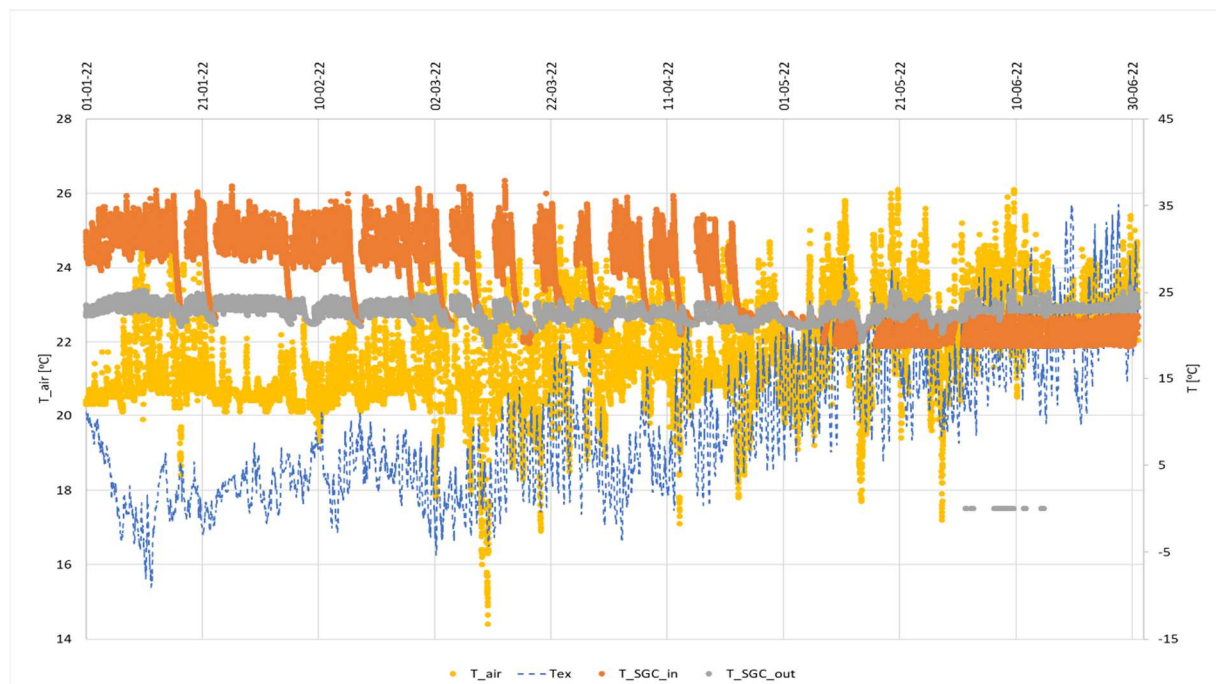
Lp.	Pomieszczenia	Klimatyczne warunki brzegowe	Wentylacja	Ogrzewanie / chłodzenie	Uwagi
1	Sale wykładowe i posiedzeń (typ D - dydaktyka)	Zima $20^{\circ}\text{C} \pm 1\text{K}$, Lato $24^{\circ}\text{C} \pm 1\text{K}$, wilg. wzgl. 25-60% wilg. wzgl. $\pm 10\%$	mechaniczna, wyporowa z chłodzeniem $36 \text{ m}^3/(\text{h os.})$,	Strop SGC + chłodzenia powietrzem nawiewanym	Zamknięte pod względem wentylacji; $\text{CO}_2 \leq 1000 \text{ ppm}$

Temperatura powyżej 22°C zimą oraz 25°C latem świadczą o przegraniu pomieszczenia i mogą negatywnie wpływać na zdolność kreatywnego myślenia i nauki u zgromadzonych osób.

Podczas analizy parametrów korzystano z programu STATISTICA.



Rys. 115 Przebieg temperatury powietrza w pomieszczeniu, zasilania i powrotu ze stropu oraz powietrza zewnętrznego w analizowanym okresie dla pomieszczenia o orientacji NE. T_{SGC_in} [°C]: Temperatura zasilania stropu grzewczo-chłodzącego; T_{SGC_out} [°C]: Temperatura opuszczająca strop; T_{air} [°C]: Temperatura powietrza wewnętrznego



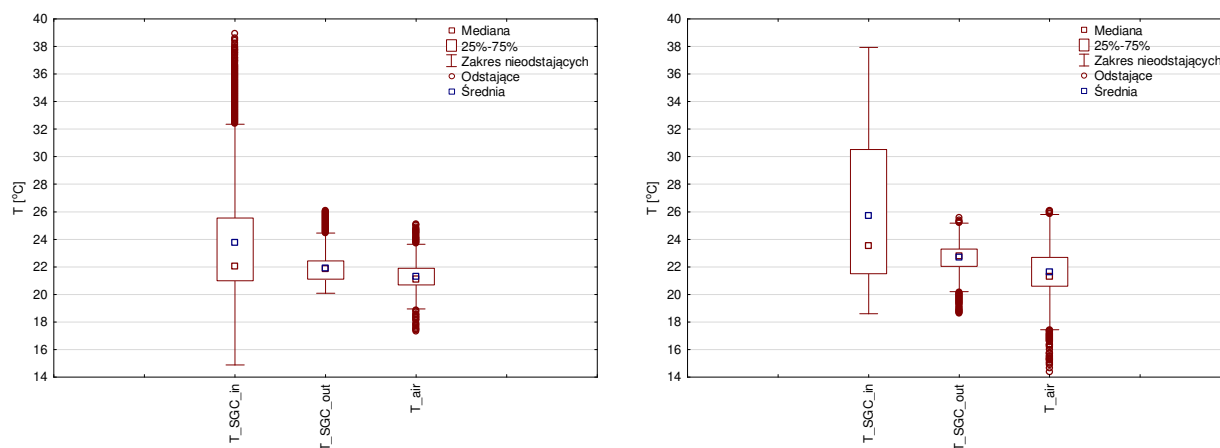
Rys. 116 Przebieg temperatury powietrza w pomieszczeniu, zasilania i powrotu ze stropu oraz powietrza zewnętrznego w analizowanym okresie dla pomieszczenia SW. T_{SGC_in} [°C]: Temperatura zasilania stropu grzewczo-chłodzącego; T_{SGC_out} [°C]: Temperatura opuszczająca strop; T_{air} [°C]: Temperatura powietrza wewnętrznego

Rys. 115 i Rys. 116 przedstawiają przebieg temperatury powietrza w pomieszczeniu, zasilania i powrotu ze stropu oraz powietrza zewnętrznego w analizowanym okresie dla pomieszczenia o orientacji NE i SW. W obu lokalizacjach temperatura wewnętrzna oscyluje głównie w zakresie 21-25°C, co jest zgodne z założeniami projektowymi.

W sezonie zimowym w pomieszczeniu A (NE) przez większość czasu temperatura utrzymywała się poniżej 22°C, z jedynie kilkoma przekroczeniami tej wartości. W sezonie letnim również tylko kilkakrotnie przekroczona została temperatura graniczna dla przegrzania pomieszczenia.

Pomieszczenie B ze względu na orientację południowo-zachodnią jest bardziej narażone na wzrosty temperatury wynikające z oddziaływania promieniowania słonecznego. Sezon zimowy w przypadku tej lokalizacji jest uwzględniony w zdecydowanie mniejszym stopniu niż w pomieszczeniu A. W okresie wiosennym i letnim odnotowano większą liczbę dni, w których temperatura przekroczyła 25°C, co wskazuje na większą ekspozycję na promieniowanie słoneczne.

W obu lokalizacjach temperatura wody zasilającej strop mieści się w przedziale 22-26°C. Wzajemna relacja temperatury zasilania i powrotu pozwalają stwierdzić, że okres grzewczy trwał od ostatniej dekady października do końca marca w pomieszczeniu NE i do końca kwietnia w SW. Chłodzenie zaczynało się od ostatniej dekady marca w przypadku pomieszczenia A (NE) oraz od początku maja w pomieszczeniu B(SW).



Rys. 117 Rozkład temperatur: zasilania stropu (T_{SGC_in}), opuszczającej strop (T_{SGC_out}) oraz powietrza wewnętrznego (T_{air}) w pomieszczeniu o orientacji NE – lewy i SW - prawy

Rys. 117 przedstawia wykres ramka wąsy porównujący parametry wody zasilającej i powrotnej ze stropu aktywowanego termicznie, oraz temperaturę powietrza w pomieszczeniu. Podstawowe elementy wykresu to [58, 68]:

- Mediana (Q2):

Mediana jest wartością środkową zestawu danych, dzielącą go na dwie równe części. Wykres pudełkowy przedstawia medianę jako punkt wewnątrz pudełka. Jest to wartość 50. percentyla, co oznacza, że połowa obserwacji jest mniejsza, a połowa większa od tej wartości.

- Średnia:

Średnia arytmetyczna jest sumą wszystkich wartości podzieloną przez ich liczbę. Jest zaznaczona jako punkt wewnątrz pudełka. Wartość średnia może różnić się od mediany, zwłaszcza w przypadku rozkładów asymetrycznych.

- Kwartyly:

Pierwszy kwartył (Q1): Wartość, poniżej której znajduje się 25% danych. Jest to dolna granica pudełka.

Trzeci kwartył (Q3): Wartość, poniżej której znajduje się 75% danych. Jest to górna granica pudełka.

- Zakres międzykwartyłowy (IQR):

Różnica między trzecim a pierwszym kwartyłem, czyli $IQR=Q3-Q1$. IQR reprezentuje rozrzut środkowych 50% danych.

- Wąsy:

Wąsy rozciągają się od pudełka do najdalszych punktów, które nie są uważane za odstające. Standardowo wąsy kończą się na wartości minimalnej i maksymalnej, które są w odległości nie większej niż 1,5-krotność IQR od Q1 i Q3.

- Dolna granica wąsa: $Q1-1.5 \times IQR$

- Górna granica wąsa: $Q3+1.5 \times IQR$

- Wartości odstające:

Wartości znajdujące się poza granicami wąsów są uznawane za odstające i są zaznaczone jako oddzielne punkty na wykresie. Wartości odstające mogą wskazywać na wyjątkowe lub ekstremalne obserwacje w danych.

Tab. 0.20 Porównanie parametrów temperatur w pomieszczeniach o orientacji NE i SW

Parametr	NE (1.10.2021 - 30.06.2022)	SW (1.01.2022 - 30.06.2022)
Mediana T_SGC_in [°C]	22.04	23,53
Średnia T_SGC_in [°C]	23.76	20.70
IQR T_SGC_in [°C]	20,1-25,54	21,51-30,52
Wąsy T_SGC_in [°C]	14,9-32,33	18,6-37,9
Odstające T_SGC_in [°C]	>32,33; <14,9	>37,9; <18,6
Mediana T_SGC_out [°C]	21.84	22.80
Średnia T_SGC_out [°C]	21.89	22.32
IQR T_SGC_out [°C]	21-22,4	22-23,3
Wąsy T_SGC_out [°C]	20,1-24,45	20,2 -25,2
Odstające T_SGC_out [°C]	>24,45; <20,1	>25,20; <20,2
Mediana T_air [°C]	21.10	21.30
Średnia T_air [°C]	21.30	21.62
IQR T_air [°C]	20,7-21,9	20,6-22,7
Wąsy T_air [°C]	18,95-23,65	17,45-25,8
Odstające T_air [°C]	>23,65; <18,95	>25,8; <17,45

W pomieszczeniu NE mediana i średnia temperatura wody zasilającej TABS wynoszą odpowiednio 22.04°C i 23.76°C. Są one niższe niż w pomieszczeniu SW, gdzie wartości te wynoszą 23.53°C i 20.70°C. Różnica ta może wynikać z tego, że okres obserwacji w pomieszczeniu NE był dłuższy i obejmował jesień, zimę i wiosnę, podczas gdy w pomieszczeniu SW była to jedynie zima i wiosna. Wyższa temperatura wody zasilającej TABS w pomieszczeniu A może być także związana z orientacją północno – wschodnią, która wiąże się z mniejszym bezpośrednim promieniowaniem słonecznym w porównaniu do orientacji SW, co może prowadzić do wyższego zapotrzebowania na ogrzewanie.

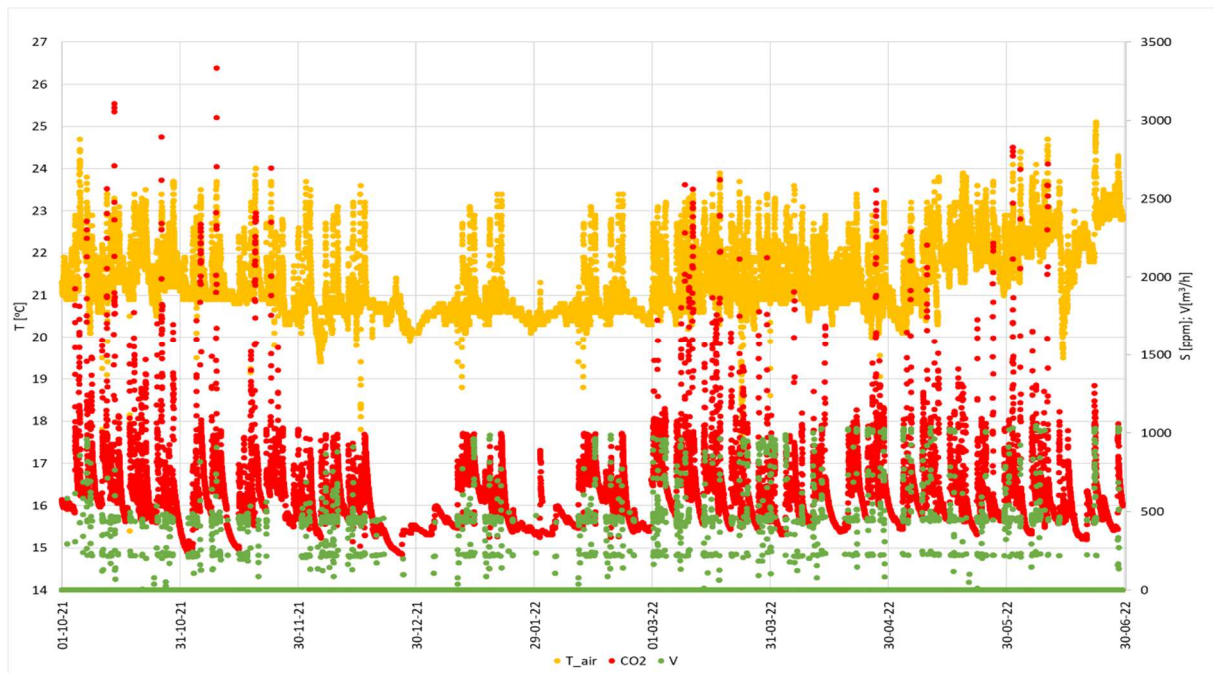
Zakres między kwartyłowy (IQR) temperatury wody zasilającej w pomieszczeniu NE wynosi 20,1-25,54°C, podczas gdy dla SW jest szerszy i wynosi 21,52-30,52°C.

Wąsy w przypadku orientacji NE rozciągają się od 14.9°C do 32.33°C, natomiast dla SW od 18.6°C do 37.9°C, co wskazuje na większą zmienność temperatur w pomieszczeniu SW. Szerszy zakres w SW może być wynikiem bardziej zmiennych warunków w krótszym okresie obserwacji. Większa liczba wartości odstających w SW (>37.9°C, <18.6°C), sugeruje, że w pomieszczeniu o orientacji SW występują bardziej ekstremalne warunki. Wartości mediany i średniej temperatury wody powrotnej ze stropu są bardzo zbliżone w obu pomieszczeniach, wynosząc odpowiednio 21.84°C i 21.89°C dla NE oraz 22.80°C i 22.32°C dla SW.

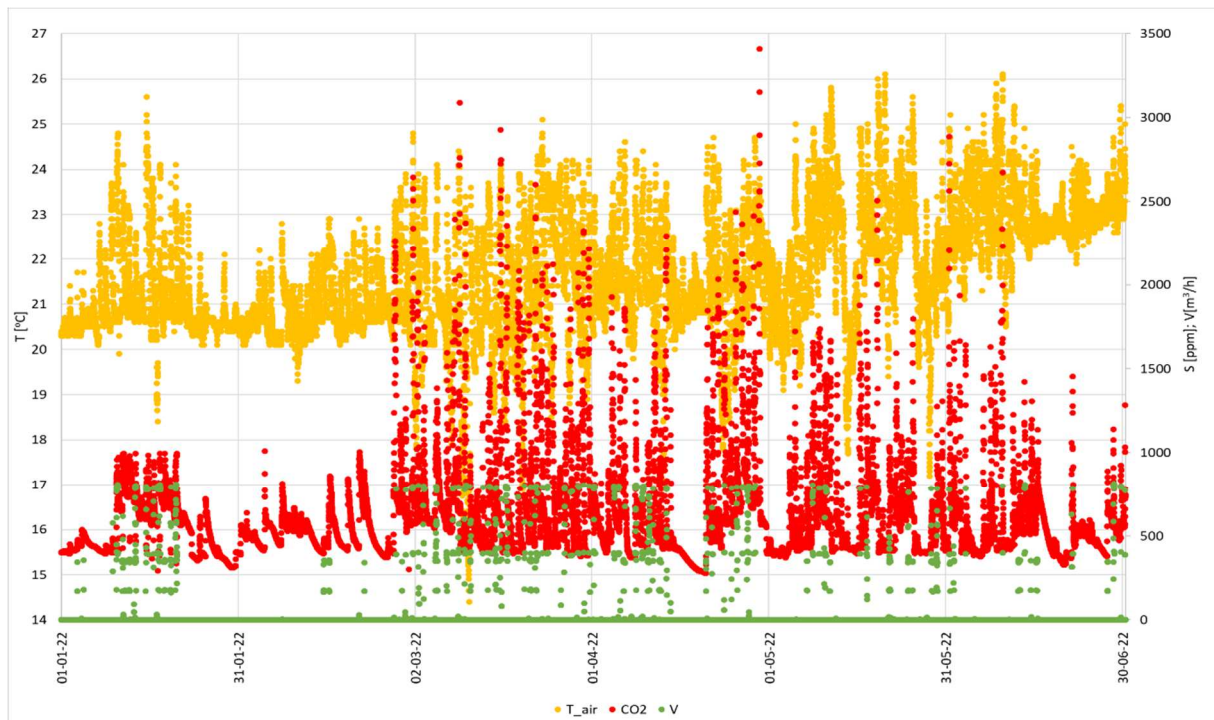
IQR dla NE wynosi 21-22.4°C, a dla SW 22-23.3°C. Wąsy w przypadku pomieszczenia NE rozciągają się od 20.1°C do 24.45°C, a dla SW od 20.2°C do 25.2°C. Nieco więcej odstających wartości występuje w pomieszczeniu SW (>25,2, <20,2°C). Otrzymane wyniki mogą sugerować, że w pomieszczeniu o orientacji południowo zachodniej panują bardziej zmienne warunki, w krótszym czasie obserwacji.

Wartości mediany i średniej temperatury powietrza wewnętrznego są bardzo zbliżone w obu pomieszczeniach: 21.10°C i 21.30°C dla NE oraz 21.30°C i 21.62°C dla SW. IQR wynosi IQR wynosi 20.7-21.9°C dla NE i 20.6-22.7°C dla SW. Wąsy są podobne, rozciągając się od 18.95-23.65°C dla NE i 17.45-25.8°C dla SW. Obecność wartości odstających (>25,8, <17,45°C) jest większa w pomieszczeniu B (SW). Pomieszczenie o orientacji SW (południowy zachód) jest bardziej narażone na promieniowanie słoneczne w okresach popołudniowych, co może

prowadzić do wyższych wartości średnich i median oraz większej zmienności temperatury powietrza w pomieszczeniu.



Rys. 118 Zmiany temperatury powietrza wewnętrznego (T_{air}), stężenia CO_2 oraz strumienia powietrza nawiewanego (V) w pomieszczeniu o orientacji północno-wschodniej (NE) w okresie od 1.10.2021 do 30.06.2022



Rys. 119 Zmiany temperatury powietrza wewnętrznego (T_{air}), stężenia CO_2 oraz strumienia powietrza nawiewanego (V) w pomieszczeniu o orientacji południowo-zachodniej (SW) w okresie od 1.01.2022 do 30.06.2022

Zmiany temperatury powietrza wewnętrznego (T_{air}), stężenia CO_2 oraz strumienia powietrza nawiewanego (V) w pomieszczeniu zostały przedstawione na Rys. 118 i Rys. 119. Tab. 0.21 przedstawia porównanie parametrów jakości powietrza. W okresie od listopada 2021 do lutego 2022 z uwagi na awarię nie rejestrowały się przekroczenia 1000ppm w pomieszczeniu SW.

W pomieszczeniu NE średnia temperatura wynosiła 21.30°C, natomiast w SW było to 21.62°C. Wartość odchylenia standardowego była większa w pomieszczeniu SW (1.358°C) w porównaniu do NE (0.844°C), co sugeruje większą zmienność temperatury w SW. W pomieszczeniu NE maksymalna temperatura osiągnęła 25.10°C, podczas gdy w SW było to 26.10°C. Wyższe maksymalne temperatury w SW mogą sugerować większe nagrzewanie się pomieszczenia w wyniku bezpośredniego nasłonecznienia.

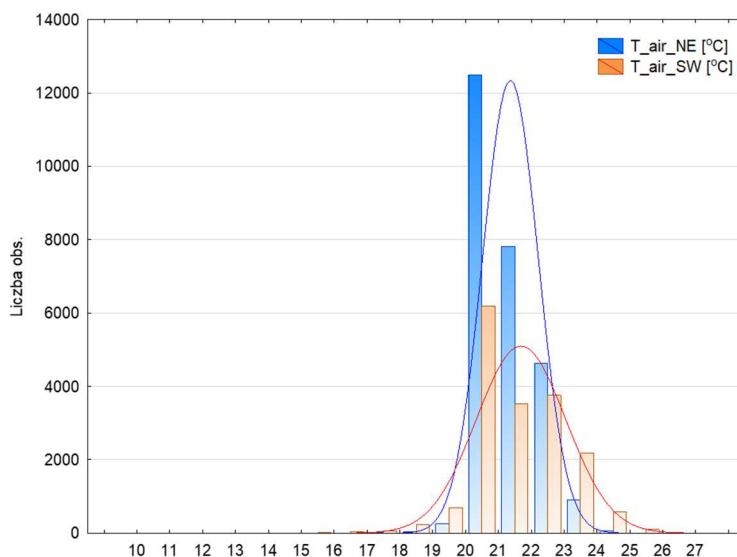
W obu pomieszczeniach w ciągu analizowanych okresów czasu stężenie CO₂ często przekraczało 1000 ppm, co wskazuje na konieczność poprawy wentylacji. W pomieszczeniu A (NE) zmiany stężenia CO₂ były dość regularne i powtarzalne, w pomieszczeniu B (SW) zmiany stężenia ditlenku węgla były bardziej zmienne i częstsze. Średnie stężenie CO₂ w pomieszczeniu NE wynosiło 586 ppm, natomiast w SW było to 611 ppm. Mediana stężenia CO₂ w NE wynosiła 539 ppm, a w SW 531 ppm. Odchylenie standardowe dla stężenia CO₂ wynosiło 240 ppm w NE i 288 ppm w SW. Większe odchylenie standardowe w SW wskazuje na większe wahania stężenia ditlenku węgla. Maksymalne stężenie CO₂ osiągnęło 3335 ppm w NE i 3410 ppm w SW. Wyższe maksymalne stężenia CO₂ w SW mogą świadczyć o większej liczbie użytkowników lub gorszej wentylacji.

Tab. 0.21 Porównanie parametrów jakości powietrza w pomieszczeniach o orientacji północno-wschodniej (NE) i południowo-zachodniej (SW)

Parametr	Temperatura powietrza T _{air} [°C]		Stężenie CO ₂ [ppm]		Strumień powietrza nawiewanego V [m ³ /h]		Wilgotność względna Rh [%]	
	NE (1.10.2021 - 30.06.2022)	SW (1.01.2022 - 30.06.2022)	NE (1.10.2021 - 30.06.2022)	SW (1.01.2022 - 30.06.2022)	NE (1.10.2021 - 30.06.2022)	SW (1.01.2022 - 30.06.2022)	NE (1.10.2021 - 30.06.2022)	SW (1.01.2022 - 30.06.2022)
N	26791	17360	25974	17251	26191	17371	26191	17360
Średnia	21,30	21,62	586	611	47,42	29,24	40,7	40,78
Mediana	21,10	21,30	539	531	0	0	40	41
Min	15,40	10,50	223	279	0	0	13	12
Max	25,10	26,10	3335	3410	1048	813	69	83
Kwartył 25%	20,70	20,60	437	428	0	0	35	34
Kwartył 75%	21,90	22,70	668	683	0	0	47	45
Odch.std.	0,844	1,358	240	288	157	128	8,575	9,205

Zgodnie z strategią wentylacyjną przyjętą w tym budynku [40] wentylacja załącza się wyłącznie gdy system wykryje obecność ludzi. Wentylacja nie działa pomimo obecności ludzi, jeśli w pomieszczeniu są otwarte okna. W obu pomieszczeniach widoczna jest duża zmienność strumienia powietrza wentylacyjnego. W pomieszczeniu o orientacji północno-wschodniej wysokie wartości strumienia powietrza były skorelowane z wyższymi stężeniami CO₂. Również w pomieszczeniu o orientacji południowo-zachodniej wysokie wartości strumienia powietrza były skorelowane z wyższymi stężeniami ditlenku węgla. Średnia wartość strumienia powietrza nawiewanego w NE wynosiła 47.42 m³/h, natomiast w SW było to 29.24 m³/h. Mediana strumienia powietrza nawiewanego wynosiła 0 m³/h w obu pomieszczeniach, co sugeruje, że system wentylacyjny często był wyłączony lub pracował na minimalnym poziomie. Odchylenie standardowe dla strumienia powietrza nawiewanego wynosiło 157 m³/h w NE i 128 m³/h w SW. Maksymalny strumień powietrza nawiewanego wynosił 1048 m³/h w NE i 813 m³/h w SW.

Wilgotność względna w obu pomieszczeniach była podobna. Średnia wilgotność względna wynosiła 40.7% w NE i 40.78% w SW, mediana wynosiła 40% w NE i 41% w SW, a odchylenie standardowe 8.575% w NE i 9.205% w SW. Maksymalna wilgotność względna wynosiła 69% w NE i 83% w SW. Większe maksymalne wartości w SW mogą być wynikiem różnic w wentylacji i ekspozycji na czynniki zewnętrzne.



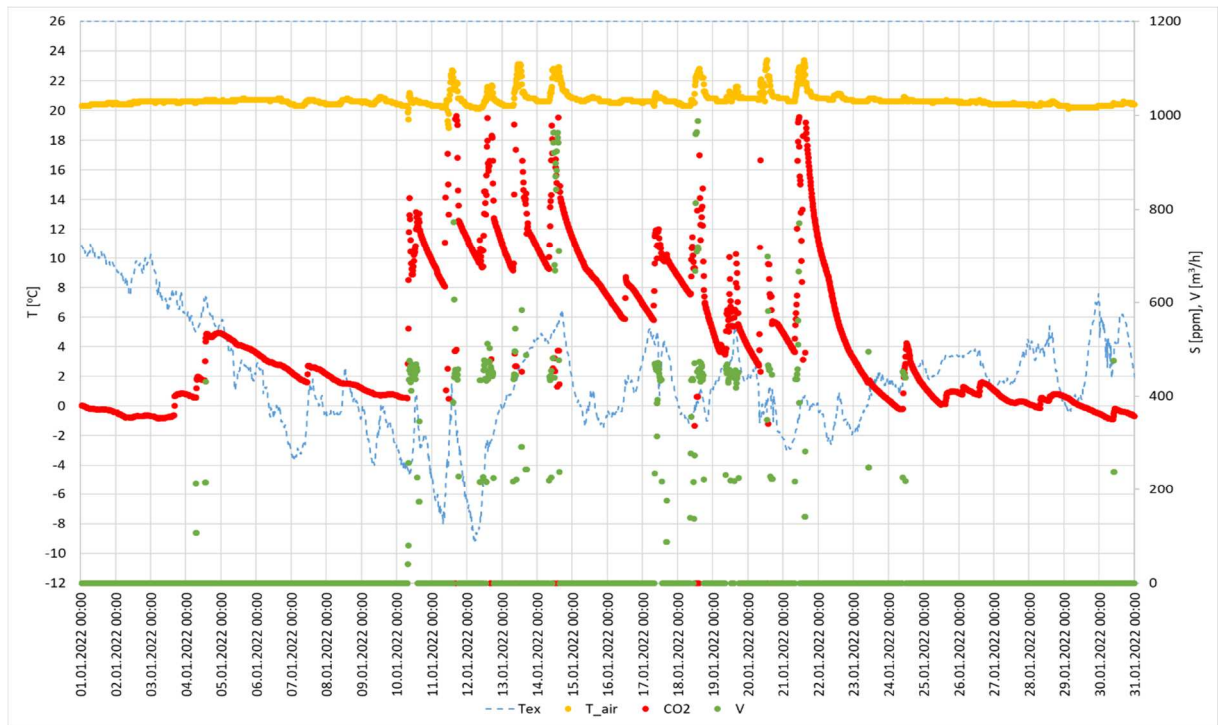
Rys. 120 Porównanie rozkładu temperatury powietrza wewnętrznego (T_{air}) w pomieszczeniach o orientacji północno-wschodniej (NE) i południowo-zachodniej (SW)

Wykres przedstawiony na Rys. 120 to histogram rozkładu temperatury powietrza wewnętrznego (T_{air}) w dwóch pomieszczeniach dydaktycznych o różnych orientacjach: północno-wschodniej (NE) i południowo-zachodniej (SW). Pomiary wykonywano co 15 minut - każda obserwacja reprezentuje 15-minutowy okres.

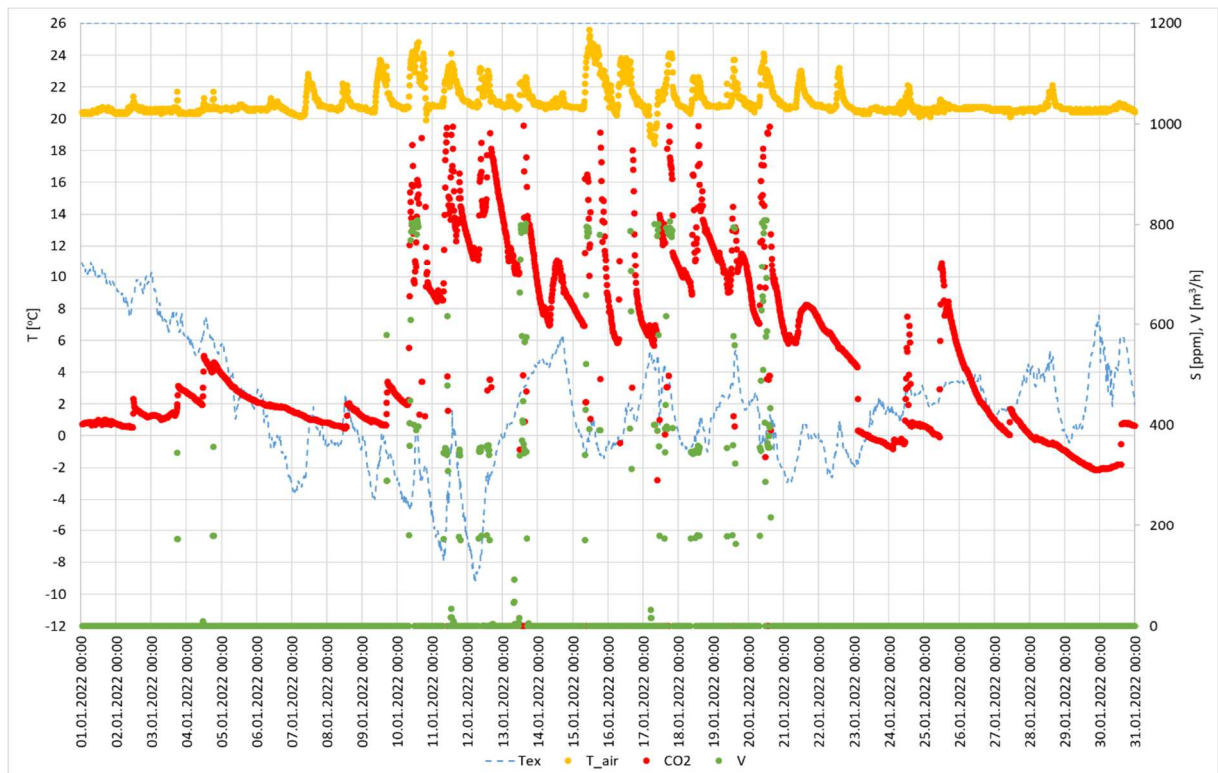
W pomieszczeniu NE większość obserwacji mieści się w przedziale temperatury 21-22°C. Krzywa gęstości (linia niebieska) ma wyraźny szczyt w okolicy 21-22°C. Rozkład temperatury powietrza w pomieszczeniu o orientacji SW (oznaczony kolorem pomarańczowym) jest szerszy w porównaniu do NE. Co oznacza mniejsze odchylenia od średniej temperatury w pomieszczeniu północno-wschodnim. Szczyt krzywej gęstości (linia czerwona) jest okolicy 21-22°C i jest on niższy i bardziej płaski w porównaniu do NE, co wskazuje na większą zmienność temperatury w tym pomieszczeniu i większą koncentrację danych w tym przedziale. W pomieszczeniu A (NE) temperatura 25°C jest przekraczana rzadko i rzadziej niż w B (SW) co oznacza, że warunki termiczne w pomieszczeniu NE są bardziej stabilne i komfortowe. W pomieszczeniu SW obserwowane są wyższe temperatury, co może być wynikiem większej ekspozycji na promieniowanie słoneczne, szczególnie w okresie letnim, który z uwagi na różnice w okresie pomiarowym w obu lokalizacjach jest dominujący w analizowanych danych.

Według harmonogramu roku akademickiego obowiązującego w Politechnice Poznańskiej w latach 2021/2022 okres zajęć dydaktycznych semestru zimowego trwał od 01.10.2021 r. - 28.01.2022 r., a okres zajęć dydaktycznych semestru letniego 26.02.2022 r. - 19.06.2022 r. Wykresy Rys. 121 i Rys. 122 przedstawiają przebieg wybranych parametrów komfortu w ciągu ostatniego miesiąca semestru zimowego w obu pomieszczeniach. Analizując dane dotyczące strumienia powietrza nawiewanego (V) i stężenia CO_2 można określić dni, w trakcie których odbywały się zajęcia – wzrastają one podczas obecności ludzi w pomieszczeniu. W pomieszczeniu NE (Rys. 121) skokowe zmiany stężenia ditlenku węgla oraz strumienia powietrza nawiewanego są widoczne 4, 10-15, 17-24 stycznia. W pomieszczeniu o orientacji SW są to dni 4,5, 10-13, 15-20, 24-28 stycznia. W dniach 11,

13, 14, 18, 20 i 21 stycznia temperatura w pomieszczeniu NE przekraczała 22°C. 13, 20 i 21 stycznia przekraczała 23 °C, podczas gdy temperatura powietrza zewnętrznego mieściła się w tych dniach przedziale -3 do +5 °C. W dniach 10-14, 17-21 oraz 24-27 stycznia, temperatura w pomieszczeniu SW (Rys. 122) przekraczała 22°C, przy czym w dniach 9, 10, 12, 15, 16, 17,19,20 stycznia temperatury podczas zajęć znacząco przekraczały 23°C.

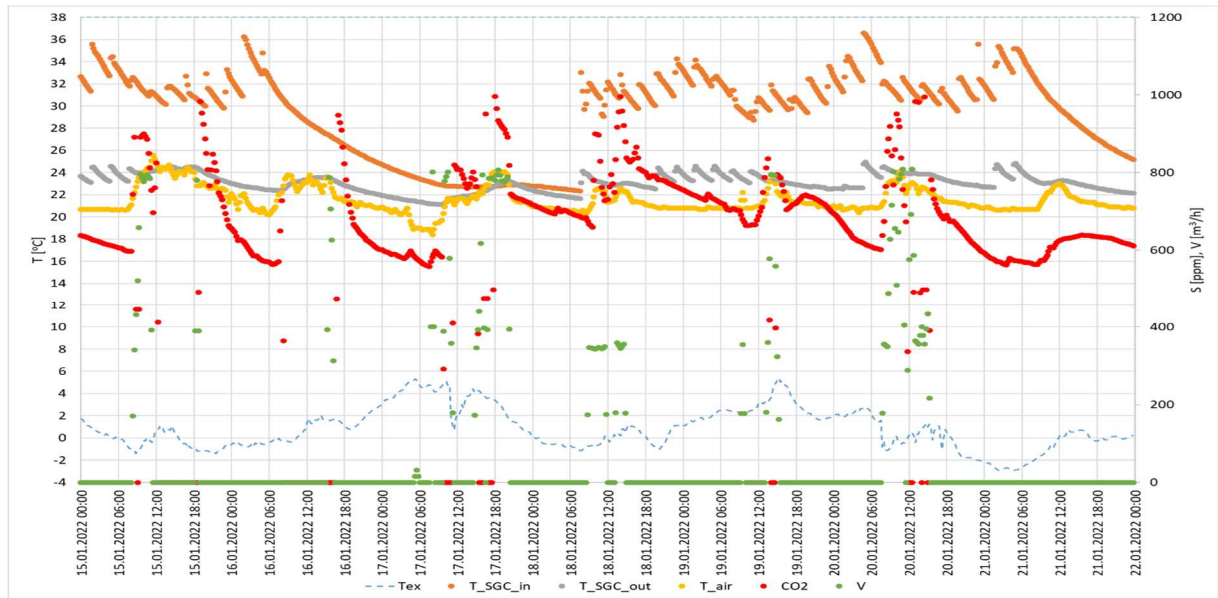


Rys. 121 Zmiany temperatury powietrza wewnętrznego (T_{air}), stężenia CO_2 oraz strumienia powietrza nawiewanego (V) w pomieszczeniu o orientacji północno-wschodniej (NE) w styczniu 2022 roku



Rys. 122 Zmiany temperatury powietrza wewnętrznego (T_{air}), stężenia CO_2 oraz strumienia powietrza nawiewanego (V) w pomieszczeniu o orientacji południowo – zachodniej (SW) w styczniu 2022 roku

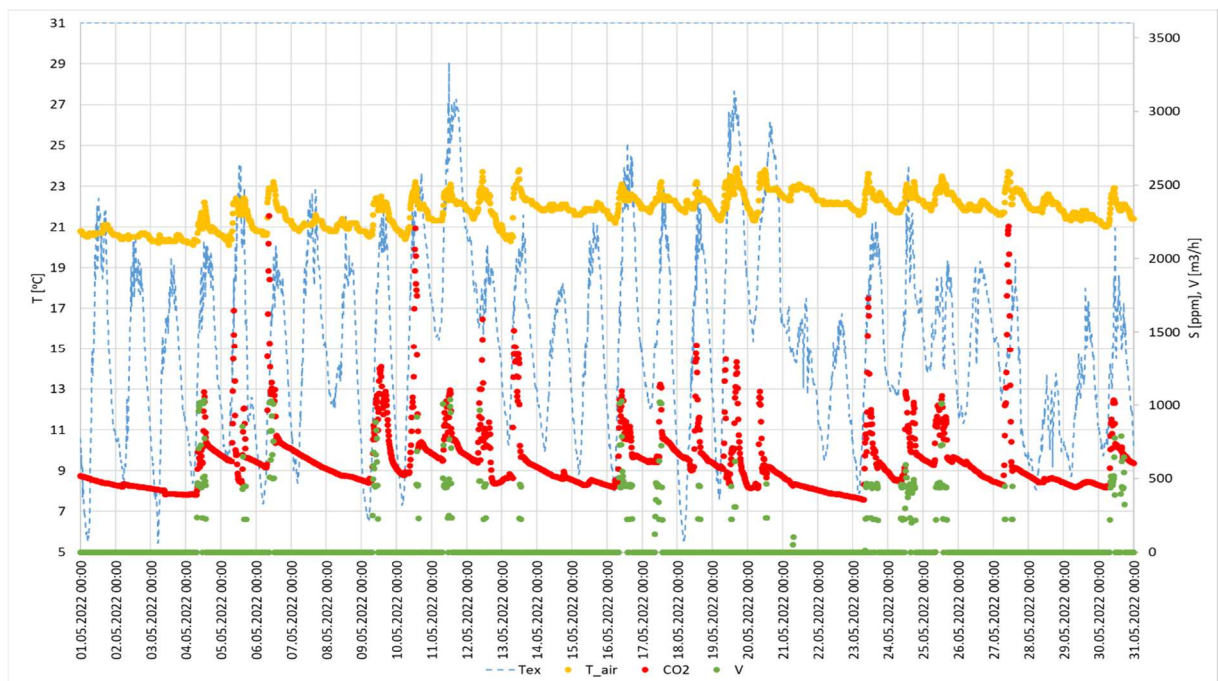
Najwyższe przekroczenie miało miejsce 15 stycznia (sobota), gdy temperatura osiągnęła około 25,6°C. Analizując przebieg temperatury powietrza wewnętrznego tego dnia (Rys. 123), zauważalnym jest, że przekroczenie temperatury 23°C następuje około godziny 9 rano i temperatura nadal wzrasta, wartość maksymalna jest osiągana o 11:30, wówczas rozpoczyna się przerwa w zajęciach, podczas której temperatura spada do około 24°C i na tym poziomie utrzymuje się do końca zajęć dydaktycznych.



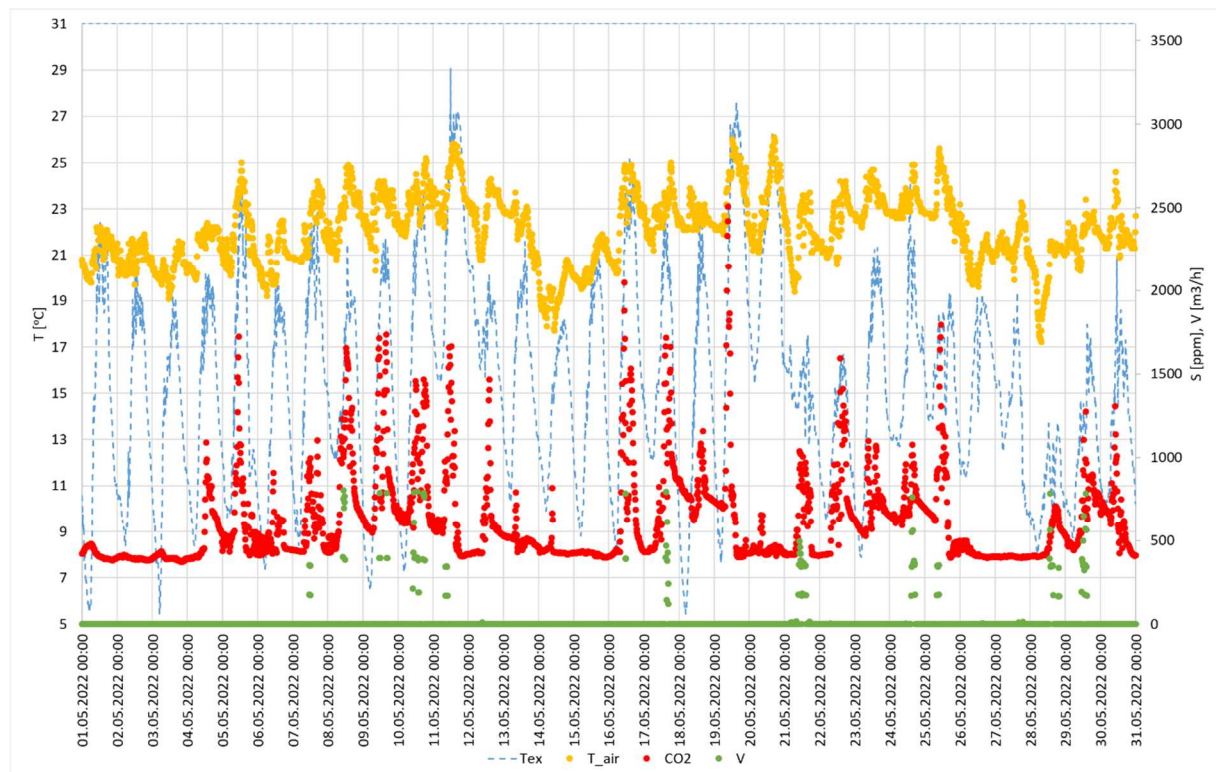
Rys. 123 Zmiany temperatury powietrza wewnętrznego (T_{air}), stężenia CO_2 oraz strumienia powietrza nawiewanego (V) w pomieszczeniu o orientacji południowo-zachodniej (SW) w okresie 15-21 stycznia 2022 roku

Można zauważyć, że najwyższe przekroczenia temperatury wewnętrznej, dochodzące do 25°C, występują najczęściej w godzinach przedpołudniowych (między 9:00 - 12:00).

Temperatura wody zasilającej (T_{SGC_in}) jest wysoka, mieści się w zakresie 32-36°C, co wskazuje na intensywne działanie systemu grzewczego. Temperatura powrotu (T_{SGC_out}) jest znacznie niższa, wynosi około 26-28°C, co świadczy o skutecznym przekazywaniu ciepła do pomieszczenia.

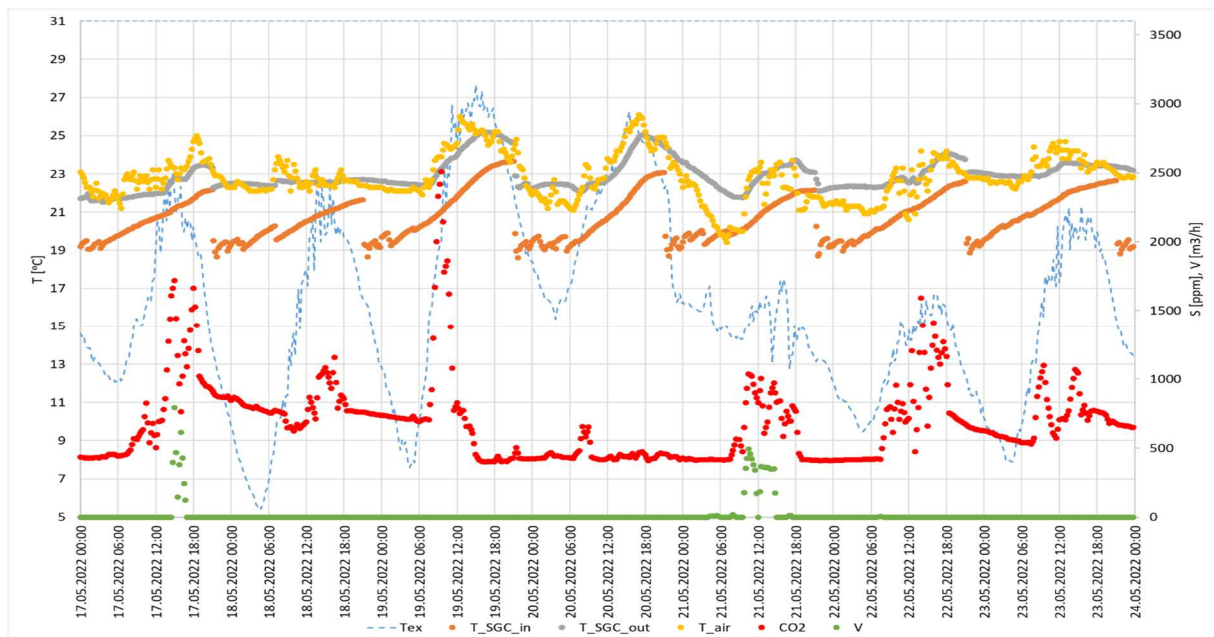


Rys. 124 Zmiany temperatury powietrza wewnętrznego (T_{air}), stężenia CO_2 oraz strumienia powietrza nawiewanego (V) w pomieszczeniu o orientacji północno-wschodniej (NE) w maju 2022 roku



Rys. 125 Zmiany temperatury powietrza wewnętrznego (T_{air}), stężenia CO_2 oraz strumienia powietrza nawiewanego (V) w pomieszczeniu o orientacji południowo – zachodniej (SW) w maju 2022 roku

Z uwagi na wysokie temperatury powietrza zewnętrznego występujące w okresie wiosenno- letnim temperatura dopuszczalna mieści się w zakresie $24\pm 1^\circ C$. W przypadku pomieszczenia o orientacji północno - wschodniej temperatura $25^\circ C$ była przekroczona w ciągu roku akademickiego jedynie 52 razy z 1045,75 jednostek 15 minutowych, gdy pomieszczenie było obciążone, czyli przez łącznie 13h (1% czasu). W przypadku orientacji południowo-zachodniej wartość ta była przekroczona łącznie przez ponad 145h (Rys. 119 i Rys. 120) w ciągu analizowanego okresu od stycznia do czerwca 2022. Stanowi to około 21% ogólnego czasu, kiedy w pomieszczeniu przebywali ludzie.



Rys. 126 Zmiany parametrów komfortu termicznego w pomieszczeniu o orientacji południowo-zachodniej (SW) w dniach 17-23 maja 2022 roku

Na podstawie wykresu przedstawiającego zmiany parametrów komfortu termicznego w pomieszczeniu o orientacji południowo-zachodniej (SW) w dniach 17-23 maja 2022 roku (Rys. 126), można zaobserwować, że w ciągu dnia temperatura wewnętrzna rosła od godzin porannych, osiągając szczyt w godzinach przedpołudniowych (9:00 - 12:00) i popołudniowych, a następnie spadała w godzinach wieczornych.

Widać, że temperatura zasilania stropu (T_{SGC_in}) oraz temperatura powrotu (T_{SGC_out}) wykazują regularne wzorce, wskazujące na intensywną pracę systemu chłodzenia. Temperatura zasilania była najniższa w godzinach nocnych i rosła w godzinach porannych i popołudniowych, co sugeruje nagrzewanie się stropu w ciągu dnia. Temperatura wody zasilającej (T_{SGC_in}) wynosiła około 19°C w nocy i wzrastała w ciągu dnia do około $21-23^{\circ}\text{C}$, temperatura powrotu jest wyższa o około 2K . W ciągu dnia, mimo wzrostu temperatur, system utrzymuje efektywne chłodzenie, co jest widoczne w różnicy między temperaturą zasilania a powrotu. Najwyższe przekroczenia temperatury wewnętrznej, dochodzące do 26°C , występują najczęściej w godzinach przedpołudniowych, między 9:00 a 12:00.

2.3.1. Wyniki badań pomiarowych - podsumowanie

Analiza wyników pomiarów temperatury i parametrów jakości powietrza w dwóch pomieszczeniach dydaktycznych o różnej orientacji (NE i SW) wykazała, że w okresie zajęć dydaktycznych często dochodziło do przekroczeń zalecanych temperatur komfortu termicznego. W pomieszczeniu o orientacji północno-wschodniej (NE) w sezonie grzewczym temperatura 22°C była często przekraczana a jej maksymalne wartości dochodziły do około 23°C . W pomieszczeniu o orientacji południowo-zachodniej (SW) przekroczenia były bardziej regularne, i wyższe. W okresie wiosenno-letnim, temperatura często przekraczała 25°C , a w niektórych przypadkach nawet przekraczała 26°C .

Obserwowane dane wskazują na potrzebę dalszej optymalizacji algorytmów sterowania systemem HVAC z zastosowaniem technologii TABS i VAV w budynkach edukacyjnych takich jak szkoły i uniwersytety. W analizowanych pomieszczeniach system HVAC działał intensywnie, jednak był on niewystarczający do

utrzymania komfortowych warunków. W ciągu dnia, szczególnie w godzinach przedpołudniowych i popołudniowych, system chłodzenia powinien być bardziej efektywny, aby zapobiec nadmiernemu nagrzewaniu się pomieszczeń. Temperatura zasilania stropu w okresie wiosenno-letnim (T_{SGC_in}) w ciągu dnia wzrastała od około 19°C w nocy do 21-23°C w godzinach porannych i popołudniowych, co wskazuje na potrzebę lepszego dostosowania temperatury zasilania w zależności od zmieniających się warunków zewnętrznych i wewnętrznych. Różnica między temperaturą zasilania a powrotu sugeruje, że strop efektywnie chłodzi pomieszczenia, jednak optymalizacja algorytmów mogłaby poprawić efektywność chłodzenia, szczególnie w godzinach największego nasłonecznienia.

Dane dotyczące strumienia powietrza nawiewanego (V) oraz stężenia ditlenku węgla w dniach, w których odbywały się zajęcia, wskazują na wielokrotne przekroczenia dopuszczalnych stężeń CO_2 . Algorytmy sterowania powinny uwzględniać nie tylko obecność ludzi, ale także rzeczywiste warunki panujące w pomieszczeniach, takie jak temperatura i wilgotność.

W obu pomieszczeniach zimą zaobserwowano przegrzanie, co jest niepożądane i może negatywnie wpływać na komfort użytkowników. W pomieszczeniu NE, temperatura 25°C była przekroczona jedynie przez 13h w ciągu roku akademickiego, co stanowi około 1% czasu. Natomiast w pomieszczeniu SW, wartość ta była przekroczona przez ponad 145 godzin w okresie od stycznia do czerwca 2022, co stanowi około 21% ogólnego czasu, kiedy w pomieszczeniu przebywali ludzie.

Dane te jednoznacznie wskazują na potrzebę dalszych badań i optymalizacji algorytmów sterowania systemami HVAC z TABS i VAV w budynkach edukacyjnych. Celem jest zapewnienie optymalnego komfortu termicznego przy jednoczesnym efektywnym wykorzystaniu energii. Skuteczna kontrola temperatury, dostosowanie wentylacji do rzeczywistych potrzeb.

Z2 Tabela zestawienie wariantów symulacji

Tab. 0.22 Warianty symulacji systemu HVAC z ((TABS+DCV))

I [-]	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia *	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
1	DCV	NE	B	1	C2	0	DCV_NE_B_1_C2_0	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
2	DCV	NE	B	1	C2	1	DCV_NE_B_1_C2_1	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
3	DCV	NE	B	1	C2	2	DCV_NE_B_1_C2_2	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
4	DCV	NE	B	1	C2	3	DCV_NE_B_1_C2_3	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
5	DCV	NE	B	1	C2	4	DCV_NE_B_1_C2_4	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
6	DCV	NE	B	1	C2	5	DCV_NE_B_1_C2_5	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
7	DCV	NE	B	1	C2	6	DCV_NE_B_1_C2_6	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
8	DCV	NE	B	1	C2	9	DCV_NE_B_1_C2_9	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
9	DCV	NE	B	1	C2	12	DCV_NE_B_1_C2_12	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
10	DCV	NE	B	1	C2	T_av	DCV_NE_B_1_C2_T_av	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ według równania uśredniającego.

I [-]	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia*	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
11	DCV	SW	B	1	C2	0	DCV_SW_B_1_C2_0	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
12	DCV	SW	B	1	C2	1	DCV_SW_B_1_C2_1	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
13	DCV	SW	B	1	C2	2	DCV_SW_B_1_C2_2	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
14	DCV	SW	B	1	C2	3	DCV_SW_B_1_C2_3	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
15	DCV	SW	B	1	C2	4	DCV_SW_B_1_C2_4	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
16	DCV	SW	B	1	C2	5	DCV_SW_B_1_C2_5	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
17	DCV	SW	B	1	C2	6	DCV_SW_B_1_C2_6	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
18	DCV	SW	B	1	C2	9	DCV_SW_B_1_C2_9	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
19	DCV	SW	B	1	C2	12	DCV_SW_B_1_C2_12	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
20	DCV	SW	B	1	C2	T_av	DCV_SW_B_1_C2_T_av	Aktywna wentylacja jedynie w porcji higienicznej, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ według równania uśredniającego.

* Czas pracy wentylacji: A - 8:00 do 20:15, B- podczas obecności ludzi; Warunki otoczenia: 1- temperature w pomieszczeniach sąsiadujących w zakresie 22-24°C w godzinach 8:00 do 20:15; oznaczenie 0- brak utrzymywania temperatury w pomieszczeniach sąsiadujących

Tab. 0.23 Warianty symulacji systemu HVAC z (TABS+VAV), dla różnych wariantów pracy systemu wentylacyjnego, dla stałego harmonogramu obciążeń C2, dla orientacji NE i SW

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
21	VAV	NE	A	0	C2	0	VAV_NE_A_0_C2_0	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
22	VAV	NE	A	0	C2	1	VAV_NE_A_0_C2_1	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
23	VAV	NE	A	0	C2	2	VAV_NE_A_0_C2_2	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
24	VAV	NE	A	0	C2	3	VAV_NE_A_0_C2_3	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
25	VAV	NE	A	0	C2	4	VAV_NE_A_0_C2_4	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
26	VAV	NE	A	0	C2	5	VAV_NE_A_0_C2_5	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
27	VAV	NE	A	0	C2	6	VAV_NE_A_0_C2_6	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
28	VAV	NE	A	0	C2	9	VAV_NE_A_0_C2_9	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
29	VAV	NE	A	0	C2	12	VAV_NE_A_0_C2_12	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
30	VAV	NE	A	0	C2	AIR	VAV_NE_A_0_C2_AIR	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi AIR.

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
31	VAV	NE	A	0	C2	T_av	VAV_NE_A_0_C2_T_av	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ według równania uśredniającego.
32	VAV	NE	B	0	C2	0	VAV_NE_B_0_C2_0	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
33	VAV	NE	B	0	C2	1	VAV_NE_B_0_C2_1	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
34	VAV	NE	B	0	C2	2	VAV_NE_B_0_C2_2	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
35	VAV	NE	B	0	C2	3	VAV_NE_B_0_C2_3	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
36	VAV	NE	B	0	C2	4	VAV_NE_B_0_C2_4	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
37	VAV	NE	B	0	C2	5	VAV_NE_B_0_C2_5	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
38	VAV	NE	B	0	C2	6	VAV_NE_B_0_C2_6	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
39	VAV	NE	B	0	C2	9	VAV_NE_B_0_C2_9	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
40	VAV	NE	B	0	C2	12	VAV_NE_B_0_C2_12	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
41	VAV	NE	B	0	C2	AIR	VAV_NE_B_0_C2_AIR	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi AIR.

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
42	VAV	NE	B	0	C2	T_av	VAV_NE_B_0_C2_T_av	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ według równania uśredniającego.
43	VAV	SW	A	0	C2	0	VAV_SW_A_0_C2_0	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
44	VAV	SW	A	0	C2	1	VAV_SW_A_0_C2_1	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
45	VAV	SW	A	0	C2	2	VAV_SW_A_0_C2_2	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
46	VAV	SW	A	0	C2	3	VAV_SW_A_0_C2_3	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
47	VAV	SW	A	0	C2	4	VAV_SW_A_0_C2_4	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
48	VAV	SW	A	0	C2	5	VAV_SW_A_0_C2_5	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
49	VAV	SW	A	0	C2	6	VAV_SW_A_0_C2_6	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
50	VAV	SW	A	0	C2	9	VAV_SW_A_0_C2_9	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
51	VAV	SW	A	0	C2	12	VAV_SW_A_0_C2_12	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
52	VAV	SW	A	0	C2	AIR	VAV_SW_A_0_C2_AIR	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi AIR.

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
53	VAV	SW	A	0	C2	T_av	VAV_SW_A_0_C2_T_av	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ według równania uśredniającego.
54	VAV	SW	B	0	C2	0	VAV_SW_B_0_C2_0	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
55	VAV	SW	B	0	C2	1	VAV_SW_B_0_C2_1	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
56	VAV	SW	B	0	C2	2	VAV_SW_B_0_C2_2	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
57	VAV	SW	B	0	C2	3	VAV_SW_B_0_C2_3	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
58	VAV	SW	B	0	C2	4	VAV_SW_B_0_C2_4	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
59	VAV	SW	B	0	C2	5	VAV_SW_B_0_C2_5	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
60	VAV	SW	B	0	C2	6	VAV_SW_B_0_C2_6	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
61	VAV	SW	B	0	C2	9	VAV_SW_B_0_C2_9	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
62	VAV	SW	B	0	C2	12	VAV_SW_B_0_C2_12	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
63	VAV	SW	B	0	C2	AIR	VAV_SW_B_0_C2_AIR	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi AIR.

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
64	VAV	SW	B	0	C2	T_av	VAV_SW_B_0_C2_T_av	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ według równania uśredniającego.
65	VAV	NE	A	1	C2	0	VAV_NE_A_1_C2_0	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
66	VAV	NE	A	1	C2	1	VAV_NE_A_1_C2_1	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
67	VAV	NE	A	1	C2	2	VAV_NE_A_1_C2_2	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
68	VAV	NE	A	1	C2	3	VAV_NE_A_1_C2_3	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
69	VAV	NE	A	1	C2	4	VAV_NE_A_1_C2_4	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
70	VAV	NE	A	1	C2	5	VAV_NE_A_1_C2_5	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
71	VAV	NE	A	1	C2	6	VAV_NE_A_1_C2_6	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
72	VAV	NE	A	1	C2	9	VAV_NE_A_1_C2_9	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
73	VAV	NE	A	1	C2	12	VAV_NE_A_1_C2_12	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
74	VAV	NE	A	1	C2	AIR	VAV_NE_A_1_C2_AIR	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, grzanie i chłodzenie tylko powietrzem.

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
75	VAV	NE	A	1	C2	T_av	VAV_NE_A_1_C2_T_av	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ według równania uśredniającego.
76	VAV	NE	B	1	C2	0	VAV_NE_B_1_C2_0	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
77	VAV	NE	B	1	C2	1	VAV_NE_B_1_C2_1	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
78	VAV	NE	B	1	C2	2	VAV_NE_B_1_C2_2	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
79	VAV	NE	B	1	C2	3	VAV_NE_B_1_C2_3	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
80	VAV	NE	B	1	C2	4	VAV_NE_B_1_C2_4	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
81	VAV	NE	B	1	C2	5	VAV_NE_B_1_C2_5	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
82	VAV	NE	B	1	C2	6	VAV_NE_B_1_C2_6	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
83	VAV	NE	B	1	C2	9	VAV_NE_B_1_C2_9	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
84	VAV	NE	B	1	C2	12	VAV_NE_B_1_C2_12	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
85	VAV	NE	B	1	C2	AIR	VAV_NE_B_1_C2_AIR	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, grzanie i chłodzenie tylko powietrzem.

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
86	VAV	NE	B	1	C2	T_av	VAV_NE_B_1_C2_T_av	Aktywna wentylacja VAV, orientacja północno-wschodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ według równania uśredniającego.
87	VAV	SW	A	1	C2	0	VAV_SW_A_1_C2_0	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
88	VAV	SW	A	1	C2	1	VAV_SW_A_1_C2_1	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
89	VAV	SW	A	1	C2	2	VAV_SW_A_1_C2_2	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
90	VAV	SW	A	1	C2	3	VAV_SW_A_1_C2_3	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
91	VAV	SW	A	1	C2	4	VAV_SW_A_1_C2_4	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
92	VAV	SW	A	1	C2	5	VAV_SW_A_1_C2_5	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
93	VAV	SW	A	1	C2	6	VAV_SW_A_1_C2_6	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
94	VAV	SW	A	1	C2	9	VAV_SW_A_1_C2_9	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
95	VAV	SW	A	1	C2	12	VAV_SW_A_1_C2_12	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
96	VAV	SW	A	1	C2	AIR	VAV_SW_A_1_C2_AIR	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, grzanie i chłodzenie tylko powietrzem.

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
97	VAV	SW	A	1	C2	T_av	VAV_SW_A_1_C2_T_av	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 bez przerwy, utrzymywanie temperatury w sąsiednich pomieszczeniach w przedziale 22-24 °C, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ według równania uśredniającego.
98	VAV	SW	B	1	C2	0	VAV_SW_B_1_C2_0	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
99	VAV	SW	B	1	C2	1	VAV_SW_B_1_C2_1	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
100	VAV	SW	B	1	C2	2	VAV_SW_B_1_C2_2	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
101	VAV	SW	B	1	C2	3	VAV_SW_B_1_C2_3	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
102	VAV	SW	B	1	C2	4	VAV_SW_B_1_C2_4	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
103	VAV	SW	B	1	C2	5	VAV_SW_B_1_C2_5	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
104	VAV	SW	B	1	C2	6	VAV_SW_B_1_C2_6	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
105	VAV	SW	B	1	C2	9	VAV_SW_B_1_C2_9	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
106	VAV	SW	B	1	C2	12	VAV_SW_B_1_C2_12	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
107	VAV	SW	B	1	C2	AIR	VAV_SW_B_1_C2_AIR	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, grzanie i chłodzenie tylko powietrzem.

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
108	VAV	SW	B	1	C2	T_av	VAV_SW_B_1_C2_T_av	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, pracuje od 8 do 20:15 tylko podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C2, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ według równania uśredniającego.

Tab. 0.24 Warianty symulacji systemu HVAC z (TABS+VAV), dla zmiennych harmonogramów obciążeń C3-C6, dla orientacji SW

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
109	VAV	SW	B	0	C3	0	VAV_SW_B_0_C3_0	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C3, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
110	VAV	SW	B	0	C3	1	VAV_SW_B_0_C3_1	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C3, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
111	VAV	SW	B	0	C3	2	VAV_SW_B_0_C3_2	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C3, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
112	VAV	SW	B	0	C3	3	VAV_SW_B_0_C3_3	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C3, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
113	VAV	SW	B	0	C3	4	VAV_SW_B_0_C3_4	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C3, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
114	VAV	SW	B	0	C3	5	VAV_SW_B_0_C3_5	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C3, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
115	VAV	SW	B	0	C3	6	VAV_SW_B_0_C3_6	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C3, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
116	VAV	SW	B	0	C3	9	VAV_SW_B_0_C3_9	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C3, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
117	VAV	SW	B	0	C3	12	VAV_SW_B_0_C3_12	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C3, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
118	VAV	SW	B	0	C3	AIR	VAV_SW_B_0_C3_AIR	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C3, tryb TABS AIR.
119	VAV	SW	B	0	C3	T_av	VAV_SW_B_0_C3_T_av	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C3, tryb przełączania T_av.

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
120	VAV	SW	B	0	C4	0	VAV_SW_B_0_C4_0	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C4, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
121	VAV	SW	B	0	C4	1	VAV_SW_B_0_C4_1	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C4, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
122	VAV	SW	B	0	C4	2	VAV_SW_B_0_C4_2	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C4, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
123	VAV	SW	B	0	C4	3	VAV_SW_B_0_C4_3	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C4, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
124	VAV	SW	B	0	C4	4	VAV_SW_B_0_C4_4	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C4, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
125	VAV	SW	B	0	C4	5	VAV_SW_B_0_C4_5	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C4, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
126	VAV	SW	B	0	C4	6	VAV_SW_B_0_C4_6	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C4, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
127	VAV	SW	B	0	C4	9	VAV_SW_B_0_C4_9	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C4, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
128	VAV	SW	B	0	C4	12	VAV_SW_B_0_C4_12	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C4, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
129	VAV	SW	B	0	C4	AIR	VAV_SW_B_0_C4_AIR	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C4, tryb TABS AIR.
130	VAV	SW	B	0	C4	T_av	VAV_SW_B_0_C4_T_av	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C4, tryb przełączania T_av.

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
131	VAV	SW	B	0	C5	0	VAV_SW_B_0_C5_0	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C5, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
132	VAV	SW	B	0	C5	1	VAV_SW_B_0_C5_1	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C5, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
133	VAV	SW	B	0	C5	2	VAV_SW_B_0_C5_2	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C5, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
134	VAV	SW	B	0	C5	3	VAV_SW_B_0_C5_3	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C5, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
135	VAV	SW	B	0	C5	4	VAV_SW_B_0_C5_4	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C5, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
136	VAV	SW	B	0	C5	5	VAV_SW_B_0_C5_5	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C5, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
137	VAV	SW	B	0	C5	6	VAV_SW_B_0_C5_6	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C5, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
138	VAV	SW	B	0	C5	9	VAV_SW_B_0_C5_9	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C5, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
139	VAV	SW	B	0	C5	12	VAV_SW_B_0_C5_12	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C5, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
140	VAV	SW	B	0	C5	AIR	VAV_SW_B_0_C5_AIR	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C5, tryb TABS AIR.
141	VAV	SW	B	0	C5	T_av	VAV_SW_B_0_C5_T_av	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C5, tryb przełączania T_av.

Numer	Rodzaj wentylacji	Orientacja	Czas pracy wentylacji	Warunki otoczenia	Rozkład	$\Delta T_{H/C}$ [K]	Oznaczenie	Opis
142	VAV	SW	B	0	C6	0	VAV_SW_B_0_C6_0	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C6, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 0.
143	VAV	SW	B	0	C6	1	VAV_SW_B_0_C6_1	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C6, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 1.
144	VAV	SW	B	0	C6	2	VAV_SW_B_0_C6_2	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C6, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 2.
145	VAV	SW	B	0	C6	3	VAV_SW_B_0_C6_3	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C6, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 3.
146	VAV	SW	B	0	C6	4	VAV_SW_B_0_C6_4	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C6, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 4.
147	VAV	SW	B	0	C6	5	VAV_SW_B_0_C6_5	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C6, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 5.
148	VAV	SW	B	0	C6	6	VAV_SW_B_0_C6_6	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C6, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 6.
149	VAV	SW	B	0	C6	9	VAV_SW_B_0_C6_9	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C6, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 9.
150	VAV	SW	B	0	C6	12	VAV_SW_B_0_C6_12	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C6, różnica temperatur przełączających $\Delta T_{H/C}$ wynosi 12.
151	VAV	SW	B	0	C6	AIR	VAV_SW_B_0_C6_AIR	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C6, tryb TABS AIR.
152	VAV	SW	B	0	C5	T_av	VAV_SW_B_0_C5_T_av	Aktywna wentylacja VAV, orientacja południowo-zachodnia, działa podczas obecności ludzi, brak klimatyzacji w sąsiednich pomieszczeniach, harmonogram C6, tryb przełączania T_av.

* Czas pracy wentylacji: A - 8:00 do 20:15, B- podczas obecności ludzi; Warunki otoczenia: 1- temperature w pomieszczeniach sąsiadujących w zakresie 22-24oC w godzinach 8:00 do 20:15; oznaczenie 0- brak utrzymywania temperatury w pomieszczeniach sąsiadujących