

# Ocena jakości środowiska wewnętrznego oraz komfortu użytkowania w modułowym budynku przedszkola wybudowanego w standardzie pasywnym

Evaluation of the quality of the indoor environment and the comfort of use in a modular kindergarten building built in a passive standard

dr inż. Dobrosława Kaczorek (ORCID: 0000-0001-5014-4326), dr hab. inż. Michał Piasecki, prof. ITB (ORCID: 0000-0002-0201-0478), Instytut Techniki Budowlanej

DOI: 10.5604/01.3001.0054.1327

**Streszczenie:** Koncepcja standardu pasywnego zakłada stosowanie rozwiązań efektywnych energetycznie, które zapewniają zarówno komfortowe warunki wewnętrzne, jak i bardzo niskie zużycie energii. Autorzy artykułu przeprowadzili badanie empiryczne w modułowym budynku przedszkola wybudowanym w standardzie pasywnym, w którym skupili się na ocenie czterech głównych czynników jakości środowiska: komfortu termicznego, jakości powietrza wewnętrznego, komfortu akustycznego i jakości oświetlenia naturalnego. W wytypowanej sali zabaw wykonano pomiary wybranych parametrów komfortu klimatycznego w dwóch sesjach pomiarowych w okresie zimowym i letnim. Uzyskane z pomiarów wartości wraz z informacjami zawartymi w dokumentacji obiektu posłużyły do wyznaczenia wskaźnika jakości środowiska wewnętrznego oraz funkcjonalnej oceny obiektu.

**Słowa kluczowe:** budynek modułowy, budynek pasywny, jakość środowiska wewnętrznego.

**Abstract:** The concept of a passive standard involves the use of energy-efficient solutions that provide both comfortable indoor conditions and very low energy consumption. The authors of the article conducted an empirical study, in a modular kindergarten building built in a passive standard focusing on the assessment of four main factors: thermal comfort, indoor air quality, acoustic comfort, and natural lighting quality. Measurements of selected climate comfort parameters were taken in a designated playroom during two measurement sessions in both winter and summer periods. The values obtained from the measurements, along with information from the facility's documentation, were used to determine the indoor environmental quality index and the functional assessment of the facility.

**Keywords:** modular building, passive building, indoor environmental quality.

## 1. Wprowadzenie

Dyrektywa EBPD w sprawie efektywności energetycznej [1] w swoich zapisach nie odnosi się bezpośrednio do komfortu użytkowania budynku. Niemniej jest istotnym elementem ogólnego celu dyrektywy, którym jest poprawa jakości życia w budynkach przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia energii. Budynki pasywne, ze względu na swoje zaawansowane rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne są obiektami, o zminimalizowanym zapotrzebowaniu energetycznym na cele grzewcze i chłodnicze, przez co przyczyniają się do osiągnięcia tych celów w sposób szczególnie efektywny. Projektowanie takich budynków jest jednak wyzwaniem dla architektów nie tylko w kontekście spełnienia odpowiednich wymagań cieplnych i akustycznych, ale również w kontekście zapewnienia odpowiedniego komfortu użytkowania budynku użytkowników. Zapewnienie odpowiedniej jakości środowiska wewnętrznego w budynkach przeznaczonych

do sprawowania opieki nad dziećmi jest szczególnie istotne. Jakość powietrza ma istotny wpływ na samopoczucie, zdrowie i bezpieczeństwo małych dzieci. Celem podjętych prac przez autorów było określenie metodyki, która posłużyła do oceny poziomu satysfakcji użytkowników budynku przedszkola wybudowanego z modułów 3D.

Komfort użytkowania modułowego, pasywnego budynku przedszkola oceniono na podstawie wskaźnika jakości środowiska wewnętrznego. W celu wyznaczenia czterech głównych składowych: komfortu termicznego, jakości powietrza wewnętrznego, komfortu akustycznego i jakości oświetlenia naturalnego w budynku przeprowadzono pomiary odpowiednich parametrów powietrza wewnętrznego.

## 2. Opis budynku poddanego ocenie

Budynek poddany ocenie to przedszkole, zlokalizowane w miejscowości Podkowa Leśna pod Warszawą, wybudowany



**Rys. 1.** Budynek przedszkola: a) widok ogólny b) rzut parteneru z zaznaczonym pomieszczeniem w którym wykonywano pomiary

w technologii modułowej, oddany do użytkowania w 2021 roku. Jest to budynek dwukondygnacyjny, o kubaturze 7809 m<sup>3</sup>, wybudowany w układzie atrialnym z dziedzińcem w części centralnej. W obiekcie znajduje się pięć sal zabaw i jedna sala, o uniwersalnej funkcji z przeznaczeniem na prowadzenie zajęć rytmicznych, rehabilitacyjnych i integracji sensorycznej. Ażurowa elewacja chroni wnętrze obiektu przed przegrzewaniem w lecie. Ogólny widok przedszkola oraz rzut kondygnacji parteru z zaznaczoną salą, w której wykonywano pomiary przedstawiono na rysunku 1.

Układ konstrukcyjny budynku składa się z prefabrykowanych modułów stalowych, posadowionych na stopach i ławie fundamentowej. Moduły prefabrykowane zostały docieplone wełną mineralną oraz obudowane płytami gipsowo-włóknowymi. Elewację zewnętrzną wokół wewnętrznego dziedzińca stanowi szklany system okiwno-drzwiowy. Ze względu na modułowy charakter konstrukcji stropy również wykonano w konstrukcji stalowej, obudowanej płytami włóknowo-cementowymi. Zestawienie właściwości cieplnych poszczególnych elementów obudowy budynku przedstawiono w tabeli 1.

W budynku zaprojektowano i zastosowano wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła. Budynek wyposażono w trzy centrale wentylacyjne, wszystkie z 88% odzyskiem ciepła. Zapewniają one dostarczanie świeżego powietrza dla osób przebywających w pomieszczeniach w ilości zgodnej z obowiązującymi przepisami (min. 15 m<sup>3</sup>/h dla dzieci i 30 m<sup>3</sup>/h dla osób dorosłych) [2]. W okresie zimowym w pomieszczeniu utrzymywana jest temperatura w granicach 20–25°C, natomiast w okresie letnim na poziomie nie wyższym niż 26°C. Nawilżanie nie jest realizowane w obiekcie. Regulacja i utrzymanie żądanej wartości temperatury w pomieszczeniach wentylowanych w okresie zimowym realizowane jest w 80% przez instalację centralnego ogrzewania, a w 20% przez system wentylacyjny. Źródłem ciepła w budynku jest kocioł gazowy, pracujący zarówno na potrzeby centralnego

**Tabela 1.** Zestawienie współczynników przenikania ciepła podstawowych elementów konstrukcyjnych

Element	Grubość	Grubość izolacji	U – współczynnik przenikania ciepła [W/(m <sup>2</sup> K)]
	[m]	[m]	
Ściana zewnętrzna	0,430	0,370	0,11
Dach	0,766	0,635	0,05
Podłoga	0,641	0,400	0,08
Okna			0,62
Szklane drzwi			0,76

ogrzewania, jak i ciepłej wody użytkowej o całkowitej mocy 15 kW z zasobnikiem o pojemności 300 l.

### 3. Ocena jakości środowiska wewnętrznego – metodologia

Komfort wewnętrzny w budynku oceniono poprzez wyznaczenie wskaźnika jakości środowiska wewnętrznego  $IEQ_{index}$ , który wyraża przewidywany procent zadowolonych użytkowników budynków ze względu na parametry środowiskowe. Wskaźnik  $IEQ_{index}$  obliczono zgodnie z równaniem (1) [3]:

$$IEQ_{index} = 0,25 \cdot TC_{index} + 0,25 \cdot \sum IAQ_{index} + 0,25 \cdot ACC_{index} + 0,25 \cdot L_{index} \quad (1)$$

Model jakości środowiska wewnętrznego, uwzględnia następujące składowe  $SI_i$ : komfort termiczny  $TC_{index}$ , jakość powietrza wewnętrznego  $IAQ_{index}$ , komfort akustyczny  $ACC_{index}$  i jakość oświetlenia naturalnego  $L_{index}$  – wyznaczone na podstawie pomiarów parametrów fizycznych lub analizy parametrów projektowanych. Szczegółowe równania opisujące poszczególne modele cząstkowe (składowe) zostały podane w tabeli 2. Danemu parametrowi fizycznemu (np. natężeniu światła lub stężeniu lotnego związku organicznego) odpowiada odsetek zadowolonych użytkowników budynku, który podstawia się według wzoru w celu obliczenia wartości współczynnika. Poszczególne składowe  $SI_i$  równania (1) (przewidywany procent spełnionych) oblicza się za pomocą równania (2) [3]:

$$SI_i = 100 - PD(SI_i) \quad (2)$$

gdzie:

$PD$  jest przewidywanym odsetkiem niezadowolonych PPD, a  $PD(SI_i)$  to odsetek osób niezadowolonych z poziomu składowej  $SI_i$ .

Jednoczesne pomiary in-situ wybranych parametrów komfortu przeprowadzono w reprezentatywnej sali zabaw przeznaczonej dla dzieci w wieku od 3 do 4 lat, znajdującej się na parterze ocenianego budynku. Sala zabaw jest pomieszczeniem o wymiarach 7,66x9,45 m i powierzchni użytkowej ok. 72 m<sup>2</sup>, z jedną ścianą zewnętrzną skierowaną na południe.

**Tabela 2.** Czujniki wraz z ich dokładnością

Rodzaj czujnika	Zakres	Skala	Dokładność
Temperatura powietrza FHAD46	20°C to 50°C	0,01°C	±0,5°C
Wilgotność FHAD46	0-100%	0,1%	±5%
Prędkość powietrza FVAD15	0,01-10 m/s	0,01 m/s	±2%
Temperatura promieniowania FIAD43	0-50°C	0,01°C	±2%
Czujnik CO <sub>2</sub> FYAD000	0-5000 ppm	1 ppm	±0,6%

Pomiary prowadzono przez tydzień w okresie zimowym od 14 do 18 listopada 2022 r. oraz w okresie letnim od 10 do 14 lipca 2023 r. W celu oceny komfortu cieplnego, w badanej sali zabaw mierzono temperaturę powietrza  $T_{air}$ , wilgotność względną powietrza  $RH_{air}$ , prędkość powietrza  $v_{air}$ , temperaturę czarnej kuli  $T_g$  oraz temperaturę mokrego termometru  $T_{mw}$ . Wykorzystano urządzenie do pomiaru mikroklimatu wewnątrz ALBORN z cyfrowym rejestratorem danych ALMEMO 2890-8a, zgodne z normą PN-EN ISO 7726:2002 [4]. Dokładność poszczególnych czujników przedstawiono w tabeli 2. Pomiary rejestrowano z krokiem czasowym co 15 minut.

Ocenę jakości powietrza wewnętrznego przeprowadzono na podstawie zmierzonego stężenia dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>). Komfort wizualny oceniono za pomocą przyrządu MAVOLUX 5032C z detektorem 3C15683, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12464-1:2022-01 [5]. W trakcie przeprowadzonej wizji lokalnej w bezpośrednim otoczeniu budynku nie zidentyfikowano żadnych źródeł hałasu. Przyjęto, że komfort akustyczny związany z hałasem zewnętrznym jest zadowalający i nie wymaga dodatkowego badania sprzętem laboratoryjnym. Informacje odnośnie listy obecności oraz czynności wykonywanych przez dzieci w ciągu dnia w analizowanej sali zabaw zostały przekazane przez kierownika przedszkola.

#### 4. Wyniki badań

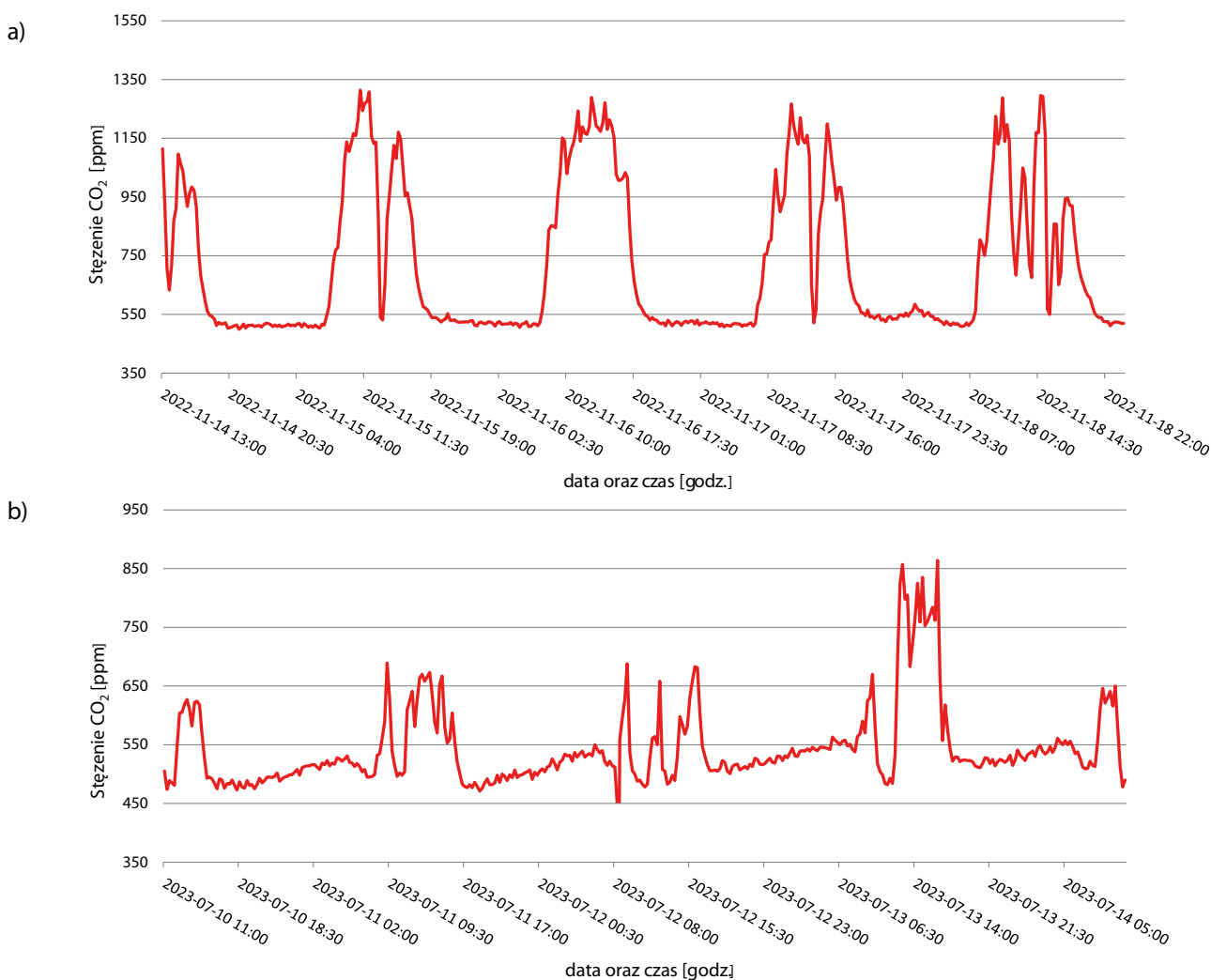
Na komfort użytkowników pomieszczeń wewnętrznych, związany z jakością powietrza (wskaźnik  $IAQ_{index}$ ) wpływ mogą mieć zarówno zanieczyszczenia antropogeniczne (procesy spalania), jak i materiały wykończeniowe, emitujące lotne związki organiczne (LZO). Z uwagi na fakt, iż w obiekcie przebywają głównie dzieci, do przedszkola zostały wybrane przede wszystkim niskoemisyjne materiały wykończeniowe (tynki, farby, kleje). Przeprowadzona analiza dokumentacji technicznej oraz wizja lokalna potwierdziły brak materiałów sklasyfikowanych przez Instytut Techniki Budowlanej (ITB) oraz Unię Europejską (UE) jako źródła istotnej emisji lotnych związków organicznych (LZO). W budynku nie stwierdzono również zapachu chemicznego pochodzącego z wyposażenia czy też materiałów budowlanych. W tym kontekście zaplanowano badania zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem węgla jako wyznacznik sprawnie działającej wentylacji bez wykonywania badań LZO i formaldehydu.

W trakcie pomiarów w sali przebywało średnio 20 dzieci oraz dwie osoby dorosłe, w godzinach od 8.00 do 16.00. Zgodnie

z przyjętym harmonogramem dnia dzieci w sali zbierały się o godzinie 8.00 rano, ok. godziny 12.00 wychodziły z sali na obiad, po powrocie w godz. 12.30–13.00 odpoczywały słuchając czytanej książki. Dzieci opuszczały salę ok. godz. 16.00. W poszczególne dni tygodnia odbywały się również różne zajęcia dodatkowe, wówczas miała miejsce wymiana dzieci w sali, część dzieci przechodziło do innych sal. Wyniki pomiarów stężenia CO<sub>2</sub> przedstawiono na rysunku 2.

W okresie zimowym maksymalne stężenia CO<sub>2</sub> w czasie zabawy dzieci dochodziły do 1300 ppm. Średnie stężenie CO<sub>2</sub> w trakcie użytkowania pomieszczenia wynosiło ok. 850 ppm, natomiast po zakończeniu zajęć ok. 520 ppm. Z kolei stężenie CO<sub>2</sub> w lipcu, w czasie przebywania dzieci w sali kształtowało się w przedziale od 620 do 670 ppm, za wyjątkiem 13 lipca, gdzie po godz. 12.00 stężenie CO<sub>2</sub> wzrosło i kształtowało się w przedziale od 750 do 850 ppm. W tym dniu temperatura zewnętrzna wynosiła ok. 25°C, a drzwi zewnętrzne do ogrodu były zamknięte przez większość dnia. Po zakończeniu zajęć oraz w okresie nocnym wartość stężenia CO<sub>2</sub> wynosiła średnio ok. 490 ppm. Wyższe stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu zewnętrznym w okresie zimowym wynika z faktu niższych temperatur zewnętrznych, co z kolei związane jest z ogrzewaniem budynków, które przekłada się na wyższe emisje CO<sub>2</sub> do atmosfery. Na wyższe stężenie CO<sub>2</sub> w pomieszczeniu na pewno wpływ ma rzadsze otwieranie okien. W sali zabaw przeprowadzono również kontrolne pomiary wentylacji mechanicznej w zakresie objętości strumienia powietrza nawiewanego i wywiewanego, które potwierdziły zgodność ilości powietrza nawiewanego i wywiewanego z wartościami przyjętymi w projekcie na poziomie 560 m<sup>3</sup>/h na nawiewie i 530 m<sup>3</sup>/h na wywiewie.

Kolejną składową IEQ modelu stanowi podmodel komfortu termicznego  $TC_{index}$  który opiera się na wskaźnikach PMV oraz PPD opracowanych empirycznie przez Fanger [6]. Użyta do pomiarów aparatura pozwalała na bezpośrednie, w trakcie pomiarów, wyznaczenie wskaźników komfortu termicznego, zgodnie z normą PN-EN ISO 7730:2006 [7] oraz ANSI/ASHRAE 55 [8]. Do wyznaczenia wskaźników konieczne było zdefiniowanie tempa metabolizmu ( $met$ ) i izolacyjności cieplnej odzieży  $clo$  jako danych wejściowych dla używanej aparatury. Na podstawie obserwacji podczas pomiarów i porównań z danymi dostępnymi w literaturze przyjęto średnią wartość  $met = 1,6$  [9], co odpowiada średniej intensywności w odniesieniu do aktywności oraz  $clo = 1,0$  dla okresu zimowego, a dla okresu letniego  $clo = 0,5$ . Wyznaczone na podstawie przeprowadzonych pomiarów



**Rys. 2.** Zarejestrowane przebiegi stężenia CO<sub>2</sub>: a) od 14 do 18 listopada 2022 b) od 10 do 14 lipca 2023

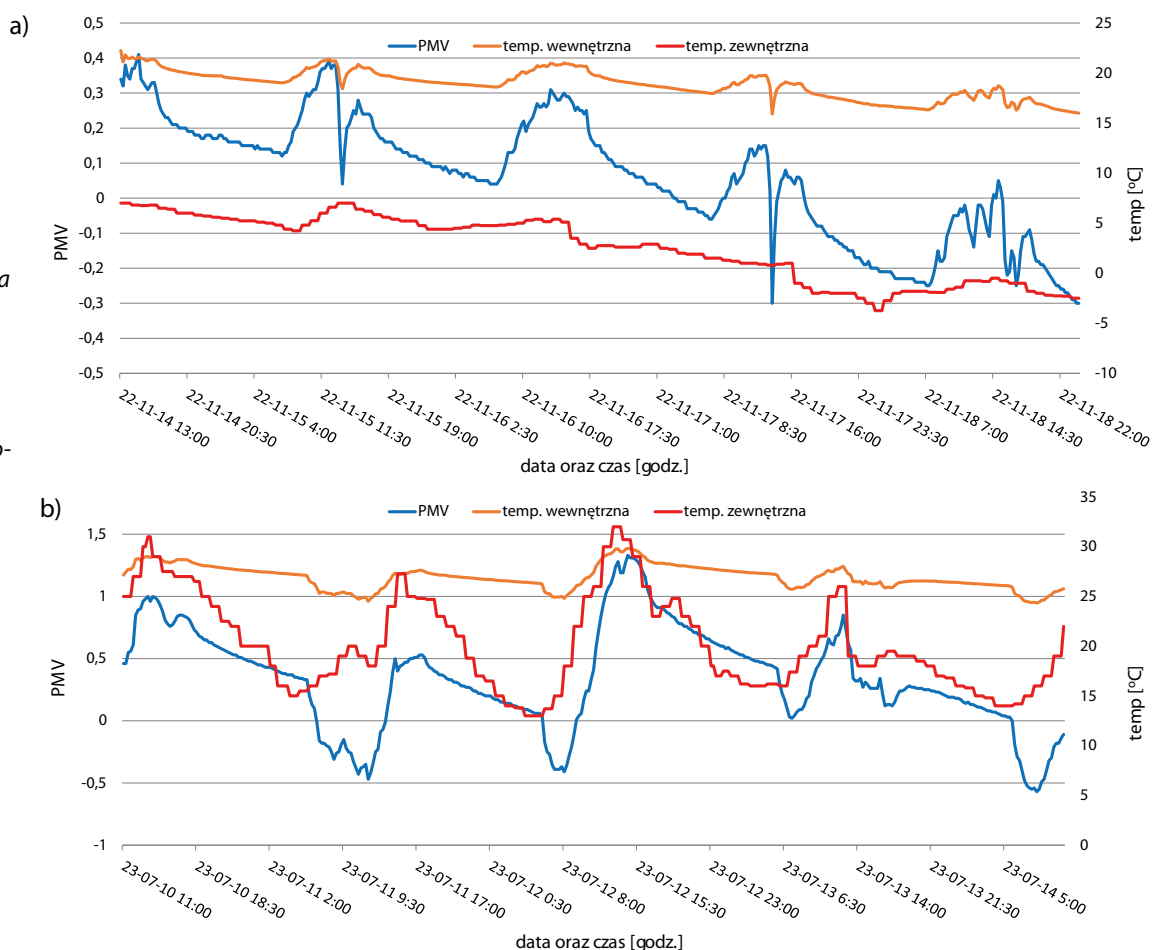
wartości wskaźnika *PMV* dla okresu zimowego oraz letniego wraz z wewnętrzną oraz zewnętrzną temperaturą powietrza przedstawiono na rysunku 3. Wartości temperatury zewnętrznej pozyskano z lokalnej stacji meteorologicznej w Podkowie Leśnej, udostępniającej wyniki z godzinowym krokiem czasowym na stronie internetowej [10].

Przebiegi zarejestrowanej temperatury powietrza wewnętrznego wraz z temperaturą zewnętrzną w zimowym okresie pomiarowym przedstawiono na rysunku 3a, a w okresie letnim – na rysunku 3b. W okresie zimowym temperatura zewnętrzna osiągała wartości od 0°C do -5°C, co przekładało się na zmiany w odniesieniu do temperatury wewnętrznej w sali, które kształtowały się w przedziale od 18°C do 20°C. Spadek temperatury do 18°C w pomieszczeniu spowodowany był wietrzeniem pomieszczenia. Nie powodowało to jednak znacznego dyskomfortu, co można wywnioskować na podstawie przebiegu wartości wskaźników *PMV*, zamieszczonych na tym samym wykresie. Komfort termiczny, biorąc pod uwagę aktywność ruchową dzieci (*met* = 1,6), mieścił się w zakresie od -0,30 do 0,43 *PMV*. Średnie *PMV* w okresie zimowym, w godzinach zajęć w sali zabaw, wynosiło 0,21, co jest wartością zadawalającą (nieznacznie powyżej odczucia idealnego *PMV*

= 0), w granicach dopuszczalnego stanu komfortu cieplnego (-0,5 < *PMV* < +0,5). Z kolei w okresie letnim zarejestrowana temperatura zewnętrzna osiągała wartości od 14°C do 32°C, co skutkowało temperaturą wewnętrzną w zakresie od 25°C do 30°C. Komfort termiczny w tym okresie wynosił od -0,55 do 1,33 *PMV*, natomiast średnie *PMV* w godzinach użytkowania sali wynosiło 0,25, co mieści się w granicach dopuszczalnego stanu komfortu cieplnego. Zarejestrowane wartości *PMV* na poziomie 1,33 w dniu 12 lipca o godz. 14.00 przy temperaturze powietrza wewnętrznego na poziomie 30°C, świadczą o odczuciach pomiędzy „umiarkowanie ciepło” a „ciepło”. Komfort wizualny *L<sub>index</sub>* oceniono poprzez pomiar natężenia oświetlenia w pomieszczeniu 14.11.23 ok. godz. 12.00 średnie natężenie przy oświetleniu sztucznym wynosiło 620 lux. Natomiast oświetlenie naturalne dzienne wahało się od 150 do 500 lux. Niniejsze wartości były niewystarczające do osiągnięcia komfortu wizualnego, niemniej sam wskaźnik oświetlenia dziennego wynosi powyżej 2%.

Akustykę *ACC<sub>index</sub>* oceniono w odniesieniu do wymagań normy PN-B-02151-2:2018-01 [11] na podstawie analizy dokumentacji technicznej. W trakcie przeprowadzonej wizji lokalnej, w bezpośrednim otoczeniu budynku nie zidentyfikowano

**Rys. 3.** Przebiegi wartości wskaźnika PMV oraz temperatur powietrza wewnętrznego i zewnętrznego: a) od 14 do 18 listopada 2022, b) od 10 do 14 lipca 2023



żadnych źródeł hałasu. Przyjęto, że komfort akustyczny związany z hałasem zewnętrznym jest zadowalający i nie wymaga dodatkowego badania sprzętem laboratoryjnym. Kompleksową ocenę komfortu wewnętrznego w pomieszczeniu zrealizowano poprzez wyznaczenie wskaźnika  $IEQ_{index}$  z uwzględnieniem wszystkich elementów składowych, tj. modeli cząstkowych, które przedstawiono w tabeli 3. Podane wartości wejściowe do modelu, to wartości uśrednione z serii pomiarowych pomierzonych parametrów fizycznych. Uzyskany wskaźnik  $IEQ$  dla punktów pomiarowych wynosi 92% (odsetek zadowolonych) dla zimy oraz 98% dla lata (tabela 3) i wskazuje, że budynek spełnia założenie komfortu w dobrym stopniu. Należy jednak zaznaczyć ograniczenie, iż niniejsze wyniki odnoszą się tylko do danego okresu pomiarowego.

## 5. Podsumowanie

W odniesieniu do oceny jakości powietrza, dopuszczalne stężenie  $CO_2$  w pomieszczeniach zamkniętych powinno wynosić 1000 ppm. Jest to wymóg minimalnego kryterium higienicznego wg standardów ASHRAE [14]. Natomiast w załączniku krajowym do normy PN-EN ISO 16798-1:216-06 [15] podano dopuszczalne wartości  $CO_2$  w pomieszczeniach powyżej wartości  $CO_2$  występującej w powietrzu zewnętrznym, w odniesieniu do kategorii pomieszczeń. Podsumowując w okresie

letnim, przy najwyższym zarejestrowanym poziomie stężenia  $CO_2$  na poziomie 850 ppm nie nastąpiło przekroczenie zalecanego poziomu ani wg zaleceń ASHRAE [14] ani według PN-EN ISO 16798-1:2019-06 [15]. Natomiast w okresie zimowym zarejestrowana maksymalna wartość stężenia  $CO_2$  na poziomie 1300 ppm przekroczyła zalecaną przez ASHRAE [14] wartość 1000 ppm, ale nie przekroczyła wartości maksymalnej zalecanej według PN-EN 16798-1:2019-06, która w przypadku zarejestrowanego na zewnątrz stężenia na poziomie 520 ppm dla pomieszczeń o umiarkowanej jakości powietrza (kategoria III) wynosi 1520 ppm. Przyczyną takiego stanu może być niewystarczająca ilość świeżego powietrza doprowadzana do sali w okresie zimowym. Skutecznym rozwiązaniem w tym przypadku byłoby dostarczenie do sali dodatkowej ilości nawiewanego powietrza poprzez zwiększenie intensywności wentylacji, tym bardziej iż zaprojektowany system wentylacyjny daje możliwość zwiększenia krotności wymian powietrza w pomieszczeniu poprzez przełączenie centrali klimatyzacyjnej na pracę na wyższym biegu.

Uzyskane z pomiarów wartości PMV wskazują na satysfakcjonujący poziom komfortu cieplnego w sali zabaw zarówno w okresie zimowym, jak i letnim. Wzrost aktywności fizycznej dzieci w pomieszczeniu ( $met = 1,6$ ) powodował obniżenie wartości temperatury uznawanej za komfortową, szczególnie w okresie zimowym kiedy to w sali odnotowywano temperaturę na poziomie 18°C. Dzieci mają wyższe tempo metabolizmu

**Tabela 3.** Modele cząstkowe komfortu oraz parametry fizyczne mierzone na obiekcie (uśrednione z wielu pomiarów) oraz wzór na IEQ

Składowa	Zależności PD(Sli) – odsetek niezadowolonych	Wartości wejściowe zima/lato	Odsetek zadowolonych zima/lato [%]
$TC_{index}$	$PMV$ (Fanger-ISO 7730) [7] $PMV = f(t_{ar}, t_r, v_{ar}, p_{ar}, M, I_{cl,dyn})$ $PD_{TC} = f(PMV)$ $PD_{TC} = 100 - 99,9 \cdot \exp(-0,0335 \cdot PMV^4 - 0,242 \cdot PMV^2)$ [1]	$PMV = 0,21/0,25$	99/98%
$IAQ_{index}$	$PD_{IAQ(CO_2)} = 395 \cdot \exp(-15,15 \cdot \Delta C_{CO_2}^{-0,25})$ [3]	$\Delta C_{CO_2} = 450/120$ ppm	85/96%
$IAQ_{index}$	$\sum IAQ_{index}(1) = IAQ(CO_2)$ [3]		85/96%
$ACC_{index}$	$PD_{ACC} = 2 \cdot (L_{zmierny} - L_{projekcyjny})$ [12] Aktualny równoważny poziom dźwięku Projektowany poziom dźwięku	35 dB(A) 35 dB(A)	100%
$L_{index}$	$PD_L = -0,018 + 1,0361 / \{1 + \exp(4,08(\log_{10}(E_{min}) - 1,82))\}$ [13]	620/900 lux	100%/98%
$IEQ_{index}$	$IEQ_{index} = 0,25 \cdot TC_{index} + 0,25 \cdot \sum IAQ_{index} + 0,25 \cdot ACC_{index} + 0,25 \cdot L_{index}$ [3]		92/98%

Uwaga: Przewidywana rozszerzona niepewność modelu IEQ wynosi ok. 32% przy współczynniku ufności  $k = 95\%$ .

niż dorośli, ponieważ ilość ich aktywności jest większa w odniesieniu do proporcji powierzchni ciała do masy aniżeli u dorosłych [16, 17], co w konsekwencji powoduje, że są mniej wrażliwe na zmiany wartości temperatury powietrza i mają szerszy zakres tolerancji temperatury powietrza niż dorośli [18]. Zmierzone natężenie oświetlenia dziennego w okresie zimowym wahało się w granicach od 150 do 520 lux. W oparciu o wartości zalecane przez Angelaki et al. [19] zgodne z normą [4] oświetlenie w przedszkolu powinno wynosić powyżej 300 lux. Ponieważ w dniu wykonywania pomiarów na zewnątrz było pochmurno, dzieci w sali zabaw przebywały przy włączonym oświetleniu, wówczas zmierzona jego wartość natężenia wynosiła 620 lux i spełniała powyższe wymagania. Z kolei w okresie letnim zmierzona wartość oświetlenia wynosiła 800–1000 lux i była to wartość zadowalająca. Tym bardziej że zwiększona ekspozycja na światło dzienne wiąże się z poprawą percepcji bodźców wzrokowych, mentalności i wyższą wydajnością. Obliczone wartości ogólnego wskaźnika komfortu budynku  $IEQ_{index}$  wyniosły 92% dla okresu letniego i 98% dla okresu zimowego (oczekiwany odsetek zadowolonych mieszkańców) (tab. 2). Uzyskane wyniki wskazują, że oceniany budynek charakteryzował się w momencie pomiaru bardzo dobrymi parametrami komfortu (Kategoria I według PN-EN 16798-1:2019-06 [15]).

**BIBLIOGRAFIA**

[1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0844> (dostęp 4 września 2023)

[2] 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 (Dz.U. 2022 r., poz. 1225)

[3] Piasecki M., Kostyrko K., Pykacz S., Indoor environmental quality assessment: Part 1: Choice of the indoor environmental quality sub-component models, tom 41, 3(2017), str. 264–289, doi: 10.1177/1744259117702882

[4] PN-EN ISO 7726:2002: Ergonomia środowiska termicznego – Przyrządy do pomiaru wielkości fizycznych

[5] PN-EN 12464-1:2022-01: Światło i oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy – Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach

[6] Fanger P. O., Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering, Danish Technical Press, Copenhagen, Denmark, 1970

[7] PN-EN ISO 7730:2006: Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźnika PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego

[7] ASHRAE Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy> (dostęp 7 lipiec 2023)

[8] Fabbri K., Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire, Building and Environment, tom 68, 2013, str. 202–214, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2013.07.002

[9] Internetowa Stacja Meteorologiczna Podkowa Leśna – historia pomiarów. <https://podkowa.meteo.com.pl/hist.pl> (dostęp 26 lipiec 2023)

[10] PN-B-02151-2:2018-01: Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku

[12] AS: NZS 2107: 2000: Acoustics – Recommended Design. – Google Scholar, [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=AS/NZS+2107:2000+Acoustics+Recommended+Design+Sound+Levels+and+Reverberation+Times+for+Building+Interiors&author=AS&publication\\_year=2000](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=AS/NZS+2107:2000+Acoustics+Recommended+Design+Sound+Levels+and+Reverberation+Times+for+Building+Interiors&author=AS&publication_year=2000) (dostęp 2 sierpień 2023)

[13] Hunt D. R. G., Predicting artificial lighting use – A method based upon observed patterns of behaviour, Lighting Research and Technology, tom 12, 1/1980, str. 7–14, doi: 10.1177/096032718001200102

[14] ASHRAE Standards 62.1 & 62.2. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2> (dostęp 23 sierpnia 2023)

[15] PN-EN 16798-1:2019-06: Charakterystyka energetyczna budynków – Wentylacja budynków – Część 1: Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego do projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków w odniesieniu do jakości powietrza wewnętrznego, środowiska cieplnego, oświetlenia i akustyki – Moduł M1-6

[16] Hsu A. et al., Larger mass of high-metabolic-rate organs does not explain higher resting energy expenditure in children, American Journal of Clinical Nutrition 77(6)/2003, str. 1506–1511, doi: 10.1093/AJCN/77.6.1506

[17] Mors S., M. Hensen J. L., Loomans M. G. L. C., Boerstra A. C., Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts, Building and Environment 46(12)2011, str. 2454–2461, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2011.05.025

[18] Chen W., Deng Y., Cao B., An experimental study on the difference in thermal comfort perception between preschool children and their parents, Journal of Building Engineering, 56(2)2022, str. 104723, doi: 10.1016/J.JOBE.2022.104723

[19] Angelaki S., Triantafyllidis G. A., Besencker U., Lighting in Kindergartens: Towards Innovative Design Concepts for Lighting Design in Kindergartens Based on Children’s Perception of Space, Sustain., tom 14, 4/2022, str. 2302, doi: 10.3390/SU14042302