

mgr inż. Anna Dudzińska*

Wstępne pomiary mikroklimatu wewnętrznego w pierwszej w Polsce szkole o niemal zerowym zużyciu energii

Szkoła przyszłości, taką nazwą określa się dziś pierwszą w Polsce szkołę, w której zużycie energii ograniczono do minimum. Dwukondygnacyjny budynek o powierzchni ok. 800 m² zrealizowano w Budzowie na Dolnym Śląsku. Obiekt ten wytycza standardy ciepłego budownictwa użyteczności publicznej, które będą obowiązywać w kraju od 2018 r. Postanowiono jednak zbadać, czy bardzo dobrze izolowany budynek, z odpowiednim systemem wentylacyjnym, poza niskimi kosztami utrzymania, zapewnia korzystny mikroklimat jego użytkownikom.

Pomiary prowadzono w słoneczny, bezchmurny dzień, 3 października, kiedy temperatura na zewnątrz wynosiła 17°C. Zakres pomiarów objął dwie godziny przedpołudniowe, podczas gdy w klasach odbywały się lekcje.

Wskaźniki komfortu cieplnego PMV i PPD

Komfort cieplny jest ważnym elementem pozytywnego odbioru warunków panujących w danym pomieszczeniu. Określa stan równowagi pomiędzy ilością ciepła powstającego w organizmie podczas przemian metabolicznych a stratami ciepła oddawanego do środowiska m.in. na drodze promieniowania, konwekcji i przewodzenia. Podstawowymi wskaźnikami stosowanymi do analizy komfortu cieplnego w danym pomieszczeniu są PMV i PPD, zaproponowane przez Fanger'a [1].

Wskaźnik PMV (Predictive Mean Vote) określa przewidywaną ocenę średnią zgodnie z siedmiostopniową psychofizyczną skalą wrażeń cieplnych Fanger'a (tabela 1). PN-EN ISO 7730:2006 podaje trzy klasy komfortu cieplnego, w zależności od założonego poziomu wymagań (tabela 2). Szkoła poddana

Tabela 1. Siedmiostopniowa skala oceny środowiska umiarkowanego

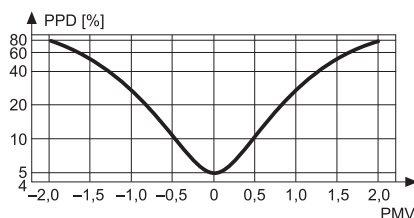
+3 gorąco	0 obojętnie	-1 dość chłodno
+2 ciepło		-2 chłodno
+1 dość ciepło		-3 zimno

Tabela 2. Zalecane wartości wskaźników komfortu termicznego w przypadku poszczególnych klas pomieszczeń [2]

Kategoria pomieszczeń	Odczucia termiczne całego ciała	
	PMV	PPD [%]
A pomieszczenia o wymaganiach wysokich	-0,2 < PMV < +0,2	< 6
B pomieszczenia o wymaganiach średnich	-0,5 < PMV < +0,5	< 10
C pomieszczenia o wymaganiach umiarkowanych	-0,7 < PMV < +0,7	< 15

badaniu jest obiektem o wymaganiach średnich, tj. klasy B.

Wskaźnik PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) określa procent osób przebywających w danym środowisku odczuwających brak komfortu termicznego, tzn. przewidywany odsetek niezadowolonych (rysunek 1). Zaleca się, aby dla kategorii B komfortu cieplnego wartość tego wskaźnika była niższa niż 10%, co odpowiada wartości PMV od -0,5 do +0,5. Podane wskaźniki są użyteczne jedynie w strefie bliskiej komfortowi termicznemu, czyli jeśli PMV wynosi od -2,0 do +2,0.



Rys. 1. Przewidywany procent niezadowolonych PPD w funkcji przewidywanej oceny średniej PMV [1, 2]

Szkoła w Budzowie

Obiekt dwukondygnacyjny (fotografia 1), zorientowany na osi wschód-zachód, niepodpiwniczony, zlokalizowany jest na działce nr 571/1 w Budzowie gmina Stoszewice. Na parterze szkoły znajdują się pomieszczenia gospodarcze, wentylatornia, świetlica, jadalnia, pokój nauczycielski oraz węzeł sanitarny. Na piętrze natomiast ulokowano sale lekcyjne wraz z sanitariatami. Budynek o konstrukcji mieszanej posadowiono na żelbetowych ławach fundamentowych grubości 40 cm oraz szerokości 80 i 100 cm. Zaprojektowano stropy żelbetowe jednokierunkowo zbrojone grubości 20 cm. Głównym materiałem, z którego wykonano ściany, są bloczki silikatowe grubości 25 cm. Ściany ocieplano styropianem Platinum



Fot. 1. Szkoła pasywna w Budzowie – widok południowo-zachodni

Plus grubości 32 cm. Zwarta, prosta bryła budynku, pozwalająca ograniczyć straty energii, ma układ przeszkleń, które spełniają wymagania związane z doświetleniem pomieszczeń. Wszelkie nadwyżki światła mają być, wg projektu, kontrolowane za pomocą zainstalowanych łamaczy promieni słonecznych.

Szkoła charakteryzuje się bardzo niskim zużyciem energii na cele grzewcze na poziomie ok. 15 kWh/m². Współczynniki przenikania ciepła przez gród wynoszą ok. 0,1 W/m²K, a zesta-

* Politechnika Krakowska

wów okiennych 0,8 W/m²K. W oknach zainstalowano szyby, których współczynnik przepuszczalności energii wynosi 0,63, a przy uwzględnieniu łamaczy światła $g_e \leq 0,5$.

Wyjątkową energooszczędność gwarantuje system wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła i regulacją temperatury. Zadaniem wentylacji nawiewno-wywiewnej z rekuperatorami jest odzyskiwanie ciepła z budynku. System zastosowany w Budzowie pozwala na odzyskanie z powietrza uszanowanego z budynku ok. 85% ciepła [3].

Warunki pomiarów

Pomiary zostały przeprowadzone w klasie usytuowanej po stronie wschodniej (fotografia 2). W sali lekcyjnej przebywało 30 uczniów oraz nauczycielka. Okna i drzwi były zamknięte, oświetlenie włączone, pracował jeden komputer. Miernik, ze względu na bezpieczeństwo, znajdował się w tylnej części klasy.

Pomiar rozpoczął się o godzinie 11.00, po czym przez dwie godziny rejestrowane były dane z pięciominutowymi interwałami czasowymi. Okres badań oraz klasę wschodnią wybrano ze względu na nasłonecznienie oraz warunki eksploatacji szkoły w tych godzinach (fotografia 3). Podczas pomia-



Fot. 2. Oszklenie w klasie wschodniej, gdzie robiono badania



Fot. 3. Szkoła pasywna w Budzowie – widok od strony wschodniej w godzinach popołudniowych

rów wentylacja pracowała na pełnych obrotach, z wydajnością 100%, a temperatura nawiewu wynosiła 20°C.

Ze względu na duże różnice w ubiorze uczniów oraz nauczycielki do analizy przyjęto dwa warianty cło, przedstawione w tabeli 3. Stosunkowo lekkie ubiór uczniów, co widać na fotografii 2, warunkuje niską wartość współczynnika oporności cieplnej. Należy zaznaczyć, że izolacyjność termiczna odzieży ma istotny wpływ na wymianę ciepła z otoczeniem i odczuwanie warunków panujących wokół.

Tabela 3. Założone do analizy ciepło metaboliczne oraz cło dla użytkowników klasy podczas badania

	Ciepło metaboliczne		Clothing	
	[met]	[W/m ²]	[clo]	[m ² C/W]
Nauczycielka	1,591	92,5	0,57	0,0884
Uczeń	1,591	92,5	0,41	0,0636

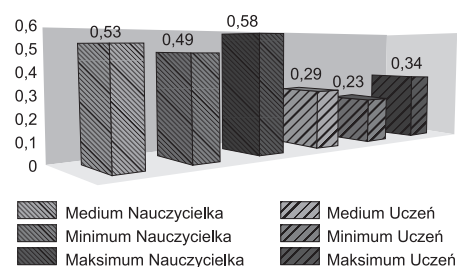
Wyniki badań

Wyniki przeprowadzonych badań (wartości średnie, minimalne oraz maksymalne wszystkich parametrów), w przypadku dwóch wariantów ubioru użytkowników sali, przedstawiono w tabeli 4. Na rysunku 2 zilustrowano obliczone średnie wartości współczynników przewidywanej oceny PMV. Wyniosły one odpowiednio 0,29 dla ucznia i 0,53 dla nauczycielki.

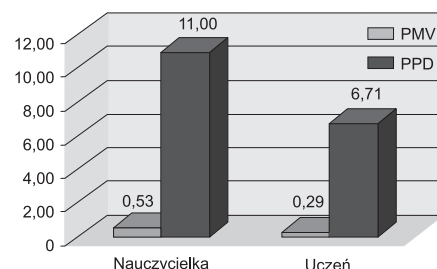
Średnie wartości współczynników PPD i PMV w analizowanej sali przedstawia rysunek 3. Przewidywany odsetek niezadowolonych wśród uczniów to zaledwie 6,71%. W przypadku ubioru nauczycielki wartość PPD wyniosła 11%.

Tabela 4. Wyniki pomiarów poszczególnych parametrów oraz wyliczone wartości PMV i PPD

Medium	Temperatura powietrza t_a [°C]	Wilgotność RH [%]	Temperatura promienowania t_r [°C]	Prędkość przepływu powietrza v_a [m/s]	Ciśnienie cząstkowe pary wodnej P_a [kPa]	Temperatura operacyjna t_o [°C]	Przewidywana ocena średnia PMV	Przewidywany odsetek niezadowolonych PPD
Nauczycielka								
Medium	24,65	47,39	25,14	0,01	1,47	24,89	0,53	11,00
Minimum	24,47	45,00	24,94	0,00	1,40	24,74	0,49	10,03
Maksimum	24,96	48,90	25,30	0,06	1,52	25,02	0,58	11,98
Uczeń								
Medium	24,65	47,39	25,14	0,01	1,47	24,89	0,29	6,71
Minimum	24,47	45,00	24,94	0,00	1,40	24,74	0,23	6,10
Maksimum	24,96	48,90	25,30	0,06	1,52	25,02	0,34	7,34



Rys. 2. Wyniki pomiarów wskaźnika PMV dla dwóch rodzajów użytkowników



Rys. 3. Średnie wartości wskaźników PPD dla obliczonych PMV

Wnioski

Wstępne wyniki badań potwierdzają założenia budownictwa pasywnego dotyczące komfortowych warunków termicznych wewnątrz pomieszczeń. Bardzo dobre parametry izolacyjne przegród zewnętrznych, energooszczędne okna oraz usytuowanie budynku gwarantują korzystny mikroklimat w pomieszczeniach.

Na podstawie dokonanych pomiarów stwierdzono, że:

- średnia wartość współczynnika PMV dla uczniów wynosi 0,29 i zgodnie z zaleceniami Fangera oraz normy PN-EN ISO 7730:2006 [1, 2] mieści się w przedziale warunków komfortowych od -0,5 do +0,5. W przypadku nauczycielki wynik wynosi 0,53 i tylko nie-



ARBOCEL® CE

Hydroxypropyl Methyl Cellulose (HPMC)

- specjalistyczne zagęstniki na bazie HPMC
- uniwersalność zastosowań
- synergia z włóknami celulozowymi i innymi zagęstnikami
- wysoka efektywność
- optymalna retencja wody

www.jrs.de

RETENMAIER POLSKA
SP. Z O.O.



Włókna prosto z natury

A Member of the JRS Group

Al. Jerozolimskie 181 · 02-222 Warszawa
Tel. + 48 (22) 608 51 04 · Fax + 48 (22) 608 51 51

znacznie wykracza poza granice komfortu. Różnica ta wynika z większej izolacyjności cieplnej odzieży w przypadku pedagoga;

- obliczone na podstawie pomiarów wartości przewidywanej oceny średniej mieściły się w granicach komfortu cieplnego, ułożone były jednak po stronie „cieplejszej”. Należy zaznaczyć, iż badanie przeprowadzono w okresie przejściowym, przy temperaturze powietrza na zewnątrz 17°C. Można zatem przypuszczać, że wraz ze wzrostem temperatury zewnętrznej oraz przy silnym nasłonecznieniu, np. w okresie lata, warunki termiczne we wnętrzu klasy mogą już nie być tak korzystne;

- mniej niż 10% uczniów uczestniczących w zajęciach lekcyjnych powinno oceniać warunki w klasie jako niekomfortowe, co odzwierciedla średnia wartość współczynnika PPD, wynosząca 6,71;

- temperatura nawiewu powietrza do sali wynosiła 20°C, miernik natomiast zanotował średnią wartość temperatury powietrza w sali lekcyjnej 24,65°C. Różnica związana jest z dużymi zyskami energetycznymi m.in.

od nasłonecznienia oraz od osób przebywających w sali lekcyjnej;

- średnia temperatura promieniowania t_r wyniosła 25,14°C i spełnia wymagania komfortu, które zakładają, że optymalna wartość t_r to temperatura powietrza t_a (+/-) 3 K;

- uśredniona wartość temperatury operatywnej t_o wyniosła 24,89°C. Uwzględnia ona rzeczywiste warunki otoczenia, tj. współczynniki wymiany ciepła na drodze konwekcji oraz promieniowania, a także temperaturę powietrza oraz promieniowania otaczających powierzchni. Optymalna wartość temperatury operatywnej powinna spełniać zależność $t_a = (+/-) 2 t_o$, co ma miejsce w przypadku badanego obiektu.

Wyrywkowa analiza mikroklimatu w badanej szkole potwierdza występowanie komfortu cieplnego w pasywnym obiekcie, jako dodatkowej korzyści, poza ekonomiczną i ekologiczną. Ze względu na ograniczony czas pomiaru nie daje jednak pełnego obrazu warunków termicznych i nie pozwala na ocenę zastosowanych w budynku rozwiązań architektoniczno-instalacyjnych.

Na kolejnym etapie badań należałoby przeanalizować mikroklimat w okresie niskiej temperatury zewnętrznej oraz maksymalnie wysokiej, w porze letniej. Dopiero roczna analiza pozwoli na wiarygodną ocenę parametrów środowiskowych wewnątrz obiektu i ich wpływu na komfort użytkowników.

Abstract

In the article a short description of the low-energy school as well as the results of thermal comfort measurements by means of integrated comfort gauge were presented. Initial evaluation of technical conditions was made.

Literatura

- [1] Fanger P.O., *Komfort cieplny*, Arkady, Warszawa, 1974.
- [2] PN-EN ISO 7730:2006, *Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego*.
- [3] Projekt wykonawczy arch. Bożeny Bończa-Tomaszewskiej z pracowni architektonicznej Bończa-Studio.