

mgr inż. Katarzyna Nowak-Dzieszko\*  
mgr inż. Małgorzata Rojewska-Warchał\*

# Analiza symulacyjna komfortu cieplnego w wielkopłytkowym budynku wielorodzinnym

*Simulation analysis of thermal comfort in the multi-family prefabricated building*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki obliczeń symulacyjnych modernizowanego wielorodzinnego budynku wielkopłytkowego, wzniesionego w systemie W70. Obliczenia wykonano w programie Design Builder, który pozwala symulować obudowę budynku oraz poszczególne części jego wnętrza. Analiza dotyczy miesięcy letnich maj – wrzesień. Głównym jej celem było określenie, w jaki sposób rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne w zmodernizowanym budynku wielorodzinnym i osłony słoneczne wpływają na ochronę budynku przed przegrzaniem oraz na ocenę warunków komfortu cieplnego.

**Słowa kluczowe:** budynek wielkopłytkowy, system W70, komfort cieplny w budynkach wielkopłytkowych, PMV, PPD, metoda Fangera.

**Abstract.** The paper presents the results of the computational simulations conducted for the W70 multi-family panel building. The calculations were carried out in the Design Builder program which allows preparing the simulation of the building envelope as well as the separate parts of the building interior. The analysis was conducted in the summer months between May and September. The main aim of the conducted analysis was to determine the influence of construction solutions, material solutions and shadings on the overheating protection and the validation of thermal comfort.

**Keywords:** panel building, W70 system, thermal comfort of the panel buildings, PMV (Predicted Mean Vote), PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), Fanger method.

**K**omfort cieplny odczuwany jest indywidualnie i subiektywnie, dlatego też jako miarodajny wynik przyjmuje się rozwiązanie, które gwarantuje najmniejszy „procent niezadowolonych” mieszkańców z panujących warunków otoczenia. Należy jednak pamiętać, że na równowagę cieplną organizmu ludzkiego mają wpływ m.in. aktywność fizyczna, oporność cieplna odzieży, temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, prędkość ruchu powietrza, wilgotność względna itd. W związku z tym w symulacjach i badaniach do oceny komfortu cieplnego używa się dwóch podstawowych wskaźników:

1) **PMV** (Predicted Mean Vote) – przewiduje średnią ocenę dużej grupy użytkowników określających swe wrażenia w siedmiostopniowej skali ocen: + 3 – gorąco; + 2 – ciepło; + 1 – dość ciepło; 0 – obojętnie; (-1) – dość chłodno; (-2) – chłodno; (-3) – zimno. Wskaźnik PMV powinien w warunkach komfortu cieplnego mieścić się w przedziale  $-0,5 < PMV < +0,5$ ;

2) **PPD** (Predicted Percentage of Dissatisfied) – opisuje przewidywaną liczbę osób niezadowolonych z panujących warunków.

Procedurę oraz sposób prowadzenia oceny warunków cieplnych opisuje międzynarodowa norma PN-EN ISO 7730 *Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczenie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczenia wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego* [4]. Bazuje ona na tzw. metodzie Fangera umożliwiającej obliczenie wskaźnika PMV na podstawie równania (1), uwzględniającego m.in. wielkość metabolizmu, aktywność fizyczną użytkowników, izolacyjność odzieży oraz parametry otoczenia.

$$PMV = [0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028] \cdot \{ (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \} \quad (1)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{ 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \} \quad (2)$$

gdzie:

$M$  – wielkość metabolizmu [W/m<sup>2</sup>];

$W$  – gęstość utraty energii w postaci pracy mechanicznej [W/m<sup>2</sup>];

$I_{cl}$  – izolacyjność odzieży [m<sup>2</sup>K/W];

$f_{cl}$  – powierzchnia ubrania [m<sup>2</sup>];

$t_a$  – temperatura powietrza [°C];

$t_r$  – średnia temperatura promieniowania [°C].

## Opis analizowanego budynku

Symulacja dotyczy rzeczywistego 11-kondygnacyjnego wielorodzinnego budynku mieszkalnego, zlokalizowanego w Krakowie w dzielnicy Krowodrza. Obliczenia zostały przeprowadzone w programie Design Builder v.3., który pozwala na analizę termiczną obudowy oraz mikroklimatu poszczególnych części budynku.

Analizowany budynek został wzniesiony w 1974 r. w technologii wielkopłytkowej w systemie W70. Wymiary poziome budynku to 21,5 m x 13,2 m, wysokość 27,5 m, powierzchnia użytkowa – 2279 m<sup>2</sup>. Budynek posiada grawitacyjny system wentylacji i jest ogrzewany z miejskiej sieci ciepłowniczej. Na każdym piętrze znajdują się cztery narożne mieszkania, korytarze, szyby windowy w centralnej jego części oraz klatka schodowa przy ścianie północnej. Procentowy udział przeszklenia na poszczególnych elewacjach wynosi odpowiednio: N – 8%; S – 40%; E – 26%; W – 26%.

\* Politechnika Krakowska, Zakład Budownictwa i Fizyki Budowli

W 2004 r. w budynku zostały wymienione okna na dwuszybowe o  $U=1,5$  [ $W/m^2K$ ], natomiast w 2006 r. przeprowadzono termomodernizację ścian zewnętrznych wykonanych z prefabrykowanych płyt betonowych w systemie W70, które po dociepleniu warstwą styropianu 15 cm osiągnęły współczynnik  $U = 0,20$  [ $W/m^2K$ ].

## Założenia do symulacji

Głównym celem analiz było określenie rozkładu temperatury i wartości wskaźnika PMV poszczególnych mieszkań (rysunek 1), zlokalizowanych na różnych piętrach w okresie letnim. Przyjęto założenie, że każde mieszkanie jest oddzielną strefą temperaturową oraz że wewnątrz pojedynczego lokalu nie występuje zmienność temperatury. Wynika to z faktu, iż ze względu na mały metraż lokale te najczęściej są użytkowane jako „przestrzenie otwarte”. Orientacje przyjętych do symulacji mieszkań na poszczególnych poziomach kształtują się następująco:

- mieszkanie nr 1 – wschód-południe;
- mieszkanie nr 2 – południe-zachód;
- mieszkanie nr 3 – zachód-północ;
- mieszkanie nr 4 – północ-wschód.

Wykonano następujące warianty symulacyjne budynku przy założeniu typowych warunków użytkowych:

1) budynek w aktualnych warunkach użytkowych (po zabiegach dociepleniowych);

2) budynek po zabiegach dociepleniowych z zastosowanymi zacienieniami wewnętrznymi;

3) budynek po zabiegach dociepleniowych z zastosowanymi zacienieniami zewnętrznymi oraz wewnętrznymi.

Następnym krokiem było porównanie wyników symulacji w przypadku mieszkań zlokalizowanych na czterech wybranych poziomach: parter, trzecie, siódme i dziesiąte piętro. Analizowano okres pomiędzy 15 maja i 15 września, gdyż w tym okresie w Polsce występuje największe ryzyko przegrzewania pomieszczeń. Do symulacji przyjęto ponadto dodatkowe założenia:

■ lokale są ogrzewane od października do marca przez 7 dni w tygodniu, 24 h/dobę, przy średniej temperaturze w mieszkaniu  $22\text{ }^\circ\text{C}$ ;

■ gęstość zaludnienia pomieszczeń stanowi  $0,08$  osoby/ $m^2$ , co odpowiada średnio trzem osobom znajdującym się w każdym mieszkaniu;

■ sposób użytkowania mieszkania to 3 osoby w mieszkaniu pomiędzy 16:00 a 7:00 rano w dni robocze oraz pomiędzy 18:00 i 6:00 rano w okresie weekendu; w pozostałym czasie liczbę użytkowników zredukowano o połowę (50%);

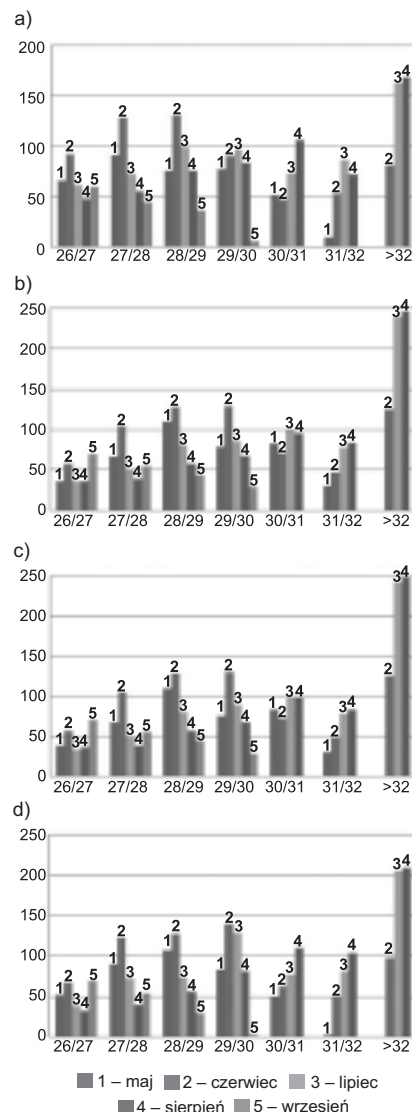
■ aktywność fizyczną użytkowników oraz izolacyjność odzieży przyjęto na podstawie normy [4] na poziomie 1,2 met; w okresie zimowym = 1,0 clo; w okresie letnim = 0,5 clo;

■ wymagania wentylacyjne przyjęto zgodnie z PN-83/B-03430 [5], wg której założono wymianę powietrza na poziomie  $70\text{ m}^3/h$  w kuchni oraz  $50\text{ m}^3/h$  w łazience;

■ zacienienia wewnętrzne w postaci ruchomych żaluzji poziomych o współczynniku odbicia promieniowania słonecznego 50%, zacienienia zewnętrzne w postaci stałych żaluzji zewnętrznych.

## Wyniki symulacji

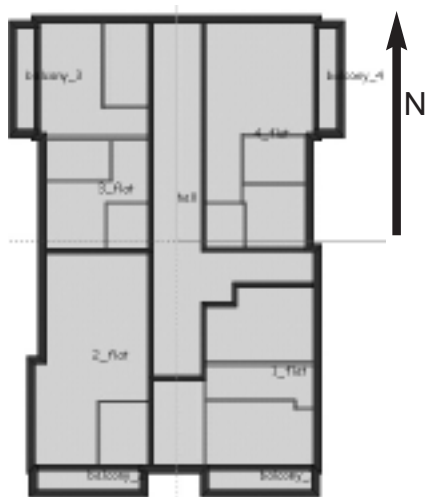
Przeprowadzone symulacje wykazały, że w okresie pomiędzy 15 maja a 15 września występują liczne okresy przekroczenia średniej temperatury powietrza wewnętrznego. Zarejestrowano temperaturę powyżej  $30\text{ }^\circ\text{C}$  oraz wskaźnik PMV większy od 2. Takie warunki mikroklimatu znacznie przekraczają maksymalne wartości temperatury ( $25\text{ }^\circ\text{C}$ ) oraz zalecany przedział wartości wskaźnika PMV ( $-0,5 < PMV < +0,5$ ). Rysunki 2a, b, c, d przedstawia-



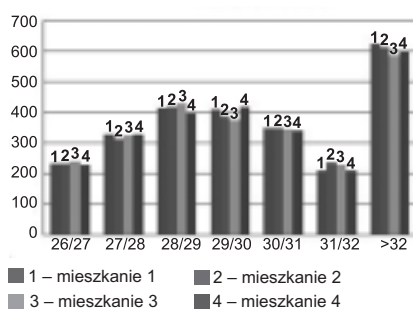
Rys. 2. Liczba godzin przegrzania południowo-zachodniego mieszkania: a – na parterze; b – na trzecim piętrze; c – na siódmym piętrze; d – na dziesiątym piętrze

ją rozkład liczby godzin przegrzania mieszkań południowo-zachodnich zlokalizowanych na parterze, trzecim, siódmym i dziesiątym piętrze budynku. We wszystkich analizowanych miesiącach występuje problem przegrzania. Najbardziej niekorzystne warunki stwierdzono w lipcu oraz sierpniu, ale już w maju pojawia się temperatura wyższa od  $30\text{ }^\circ\text{C}$ .

Przeprowadzone analizy potwierdziły, że biorąc pod uwagę orientację mieszkań, **najkorzystniejsze warunki pod względem komfortu cieplnego występują w mieszkaniu numer 4 (mieszkanie północno-wschodnie), natomiast najbardziej niekorzystne w mieszkaniu numer 2 (mieszkanie południowo-**



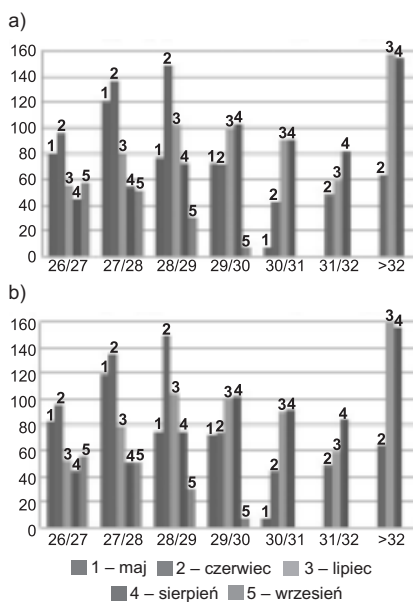
Rys. 1. Typowy układ stref temperaturowych na piętrze budynku



Rys. 3. Liczba godzin dyskomfortu dla mieszkań na siódmym piętrze w analizowanych miesiącach

-zachodnie) – rysunek 3. Wskaźnik PMV przekracza wartość 2 w przypadku wszystkich mieszkań, a w lipcu nawet wartość 3.

Kolejnym etapem analiz było **zastosowanie zacięń w postaci ruchomych żaluzji wewnętrznych**. Okazuje się, że tego typu osłony wpływają w ograniczonym stopniu na warunki mikroklimatu w analizowanych lokalach mieszkalnych. Rysunki 4a i b przedstawiają wyniki symulacji w przypadku mieszkania numer 2 w poszczególnych miesiącach, na różnych piętrach po zastosowaniu zacięń wewnętrznych. Porównując z analogicznymi wykresami dla stanu rzeczywistego budynku (rysunki 2b i c) obserwujemy nieznaczną poprawę warunków mikroklimatu wewnątrz analizowanych lokali.

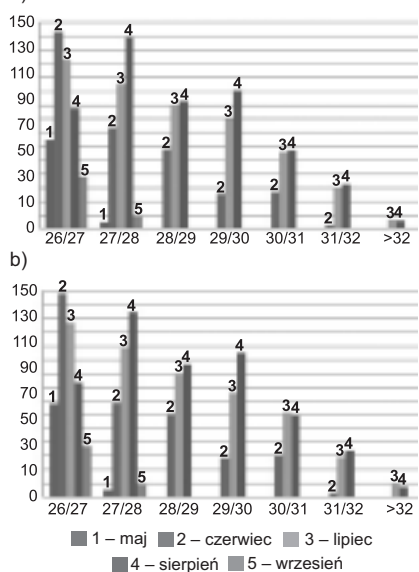


Rys. 4. Liczba godzin przegrzania w przypadku mieszkania południowo-zachodniego wyposażonego w zacięnia wewnętrzne znajdującego się na: a – trzecim piętrze; b – siódmym piętrze

Maksymalna temperatura wynosząca w pierwszym etapie symulacji 35,80 °C, została zredukowana przez zacięnia wewnętrzne tylko o 1,5 °C do 34,30 °C, natomiast liczba godzin przegrzania w analizowanym okresie w mieszkaniu nr 2 zmniejszyła się z 2553 do 2353 (o ok. 8%), a w przypadku mieszkania nr 4 z 2526 do 2328 (również o ok. 8%). Wskaźniki PMV nadal przekraczały wartość 2, jednak ich wartość uległa obniżeniu z 3,55 do wartości 3,0.

Ostatnim etapem analiz było **dodanie** do analizowanego budynku z zacięciami wewnętrznymi **osłon zewnętrznych w postaci stałych żaluzji poziomych**.

Kolejny etap modernizacji budynku polepszył wartości mikroklimatu w lokalach mieszkalnych. Rysunki 5a i b



Rys. 5. Liczba godzin przegrzania w przypadku mieszkania południowo-zachodniego mającego zacięnia wewnętrzne i zewnętrzne znajdującego się na: a – trzecim piętrze; b – siódmym piętrze

przedstawiają wyniki symulacji dla mieszkania nr 2 w poszczególnych miesiącach, na różnych piętrach, po zastosowaniu zacięń wewnętrznych oraz zacięń zewnętrznych. Wynika z nich, że nastąpiła znaczna poprawa warunków mikroklimatu wewnątrz wszystkich analizowanych lokali. Maksymalna temperatura wynosząca w warunkach rzeczywistych 35,80 °C, zredukowana zacięciami wewnętrznymi do 34,30 °C została ponownie zredukowana zacięciami zewnętrznymi do 32,5 °C, natomiast liczba godzin przegrzania w analizowanym okresie

zmniejszyła się w mieszkaniu nr 2 z 2553 w stanie rzeczywistym do 1483 (poprawa o 42%), a w mieszkaniu nr 4 z 2526 do 1457 (poprawa również o 42%). Wskaźniki PMV uległy znacznemu obniżeniu z wartości 3,0 do 2,0.

## Wnioski

Wyniki przeprowadzonych symulacji wykazały, że w miesiącach letnich mikroklimat we wszystkich mieszkaniach analizowanego budynku wielorodzinnego jest niekorzystny (przegrzewanie), a parametry opisujące komfort cieplny przekraczają wartości dopuszczalne. W okresie letnim te niekorzystne warunki utrzymują się w ciągu dnia i tylko nieznacznie zmieniają w okresie nocnym. Modernizacja budynków wielopłytowych powinna być poprzedzona analizą wpływu projektowanych zmian na komfort cieplny poszczególnych mieszkań. Głównym celem termomodernizacji budynków wielopłytowych jest obniżenie zużycia energii na cele grzewcze w miesiącach zimowych, niemniej jednak należy pamiętać, że komfort przebywania w tego typu budynkach nie może być pomijany.

Na etapie projektowania zmian modernizacyjnych powinny być analizowane zacięniające rozwiązania konstrukcyjne. Analizy wykazały, że zacięnia wewnętrzne tylko nieznacznie poprawiają warunki mikroklimatu, natomiast zastosowanie dodatkowych zacięń zewnętrznych może znacznie obniżyć liczbę godzin przegrzania w analizowanych mieszkaniach (o ponad 40%). Rozwiązania te znacznie poprawiłyby warunki komfortu cieplnego.

## Literatura

- [1] Nowak K.; Modernizacja budynków a komfort cieplny pomieszczeń. Energia i Budynki, ISSN 1897-5879, 29 – 33.
- [2] Dębowski J.; Cała prawda o budynkach wielopłytowych Przegląd Budowlany 9/2012.
- [3] Nowak K., Nowak-Dzieszczo K., Rojewska-Warchał M.; Thermal comfort of the rooms in the designing of commercial buildings. Research and Applications in Structural Engineering, Mechanics and Computation. SMEC Cape Town 2013 s. 651 – 652.
- [4] PN-EN ISO 7730 Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- [5] PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania.