

Katarzyna NOWAK – DZIESZKO¹

Małgorzata ROJEWSKA – WARCHAŁ²

Jacek DĘBOWSKI³

WPŁYW DOCIEPLENIA BUDYNKU WIELKOPŁYTOWEGO NA KOMFORT CIEPLNY LOKALI MIESZKALNYCH

Przyjmuje się, że w Polsce w latach 1960-1990 wybudowano około 4-ech milionów budynków z elementów prefabrykowanych w różnych systemach. Co więcej szacuje się, że w budynkach tych mieszka obecnie ponad 10 mln Polaków, chociaż dane na ten temat nie są w pełni ścisłe. Niemniej jednak sprawia to, że problemy związane z właściwym utrzymaniem, poprawą izolacyjności, a przede wszystkim ograniczeniem energochłonności budynków prefabrykowanych stały się od jakiegoś czasu bardzo istotne i powszechne. Dominującym kryterium podczas tzw. termomodernizacji tego typu budynków jest poprawa charakterystyki energetycznej tych obiektów, w ramach której podejmowane są najczęściej działania dociepleniowe połączone z wymianą stolarki okiennej. Jednakże rozważając i projektując działania związane z termomodernizacją praktycznie nikt nie uwzględnia aspektu komfortu cieplnego i problemów związanych z przegrzaniem tychże budynków, co jest bardzo istotnym zagadnieniem z punktu widzenia mieszkańców. W artykule przedstawione zostały wyniki symulacji komputerowych warunków mikroklimatu przeprowadzonych dla budynku wielkopłytowego wzniesionego w systemie W70, zlokalizowanego w Krakowie. Symulacje zostały wykonane w programie Design Builder umożliwiającym analizę warunków mikroklimatu w budynkach oraz jego poszczególnych strefach. Przeprowadzone analizy wykazały, że docieplenie obudowy budynku niestety niekorzystnie wpływa na warunki komfortu cieplnego lokali mieszkalnych. W oparciu o przeprowadzone symulacje autorzy określili wpływ termomodernizacji oraz orientacji poszczególnych mieszkań w budynku wielkopłytowym na komfort cieplny.

Słowa kluczowe: wielka płyta, komfort cieplny, Design Builder, PMV, metoda Fangera

¹ Autor do korespondencji: mgr inż. Katarzyna Nowak – Dzieszko, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24 31 – 155 Kraków, tel. 12 628 23 17, knowakdzieszko@o2.pl

² mgr inż. Małgorzata Rojewska-Warchał, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24 31 – 155 Kraków, tel. 12 628 21 32, m_rojewska@wp.pl

³ dr inż. Jacek Dębowski, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24 31 – 155 Kraków, tel. 12 628 23 17, jdebowski@pk.edu.pl. Artykuł przygotowano w ramach prac L-1/116/DS/2013

1. Komfort cieplny

Analizując pojęcie komfortu cieplnego należy założyć sytuację, w której organizm ludzki znajduje się w stanie zrównoważonego bilansu cieplnego. Na równowagę tę mają wpływ m.in. aktywność fizyczna, oporność cieplna odzieży oraz parametry środowiskowe: temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, prędkość ruchu powietrza, wilgotność względna itd. Dlatego też w symulacjach i badaniach analiza komfortu cieplnego opiera się na syntezie 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 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 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” [1], która opiera się na tzw. metodzie Fanger’a umożliwiającej obliczenie wskaźnika PMV na podstawie poniższego równania:

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

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

gdzie:

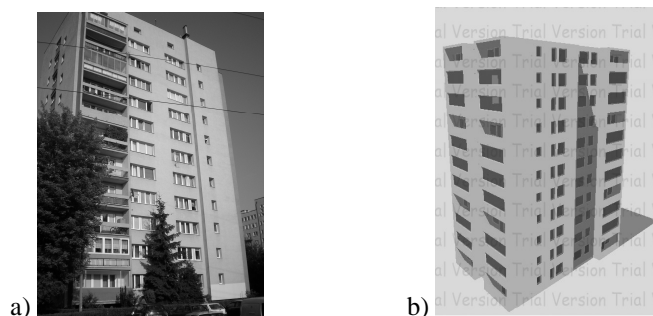
- M – wielkość metabolizmu, W/m^2 ,
- W – jest gęstością utraty energii w postaci pracy mechanicznej, W/m^2 ,
- I_{cl} – izolacyjność odzieży, m^2K/W ,
- f_{cl} – powierzchnia ubrania, m^2 ,
- t_a – temperatura powietrza, $^{\circ}C$,
- t_r – średnia temperatura promieniowania, $^{\circ}C$,
- t_{cl} – temperatura powierzchni ubrania, $^{\circ}C$.

Tak duża ilość parametrów wpływających na wskaźniki komfortu oraz dyskomfortu cieplnego utrudnia projektantom zadanie oceny tych parametrów oraz zadanie analizy wpływu właściwości zewnętrznych przegród budynku na komfort cieplny projektowanych pomieszczeń.

2. Opis problemu i analizowanego budynku

Rozpoczęty w latach 90-tych wielki boom na termomodernizację, a ponadto wciąż zmieniające się wymagania termiczne powodują, że coraz częściej w „starych” budynkach podejmuje się zabiegi dociepleniowe. Bez wątpienia zabiegi te są jak najbardziej korzystne pod względem oszczędności energii, niemniej jednak pod względem komfortu cieplnego mieszkań stają się dość dyskusyjne. Świadczą o tym lokalne zgłoszenia mieszkańców o pogorszeniu się warunków mieszkaniowych tuż po zabiegach dociepleniowych. W celu wyjaśnienia tego problemu i określenia wpływu zewnętrznej izolacji cieplnej budynku na komfort użytkowania poszczególnych pomieszczeń autorzy niniejszego artykułu przeprowadzili własne analizy symulacyjne. Symulację oparto na rzeczywistym 11 kondygnacyjnym wielorodzinnym budynku mieszkalnym wykonanym w systemie W70, zlokalizowanym w Krakowie w dzielnicy Krowodrza (Rys.1). Obliczenia zostały przeprowadzone w programie Design Builder v.3., który pozwala na analizę termiczną obudowy budynku oraz mikroklimatu poszczególnych części wewnątrz budynku, n podstawie danych klimatycznych dla Krakowa-Balice.

Przyjęty reprezentacyjny budynek został wzniesiony w 1974 r. w technologii wielkopłytkowej w systemie W70. Wymiary budynku to 21,5 m x 13,2 m, wysokość 25 m, powierzchnia użytkowa – 2279 m², 11 kondygnacji nadziemnych. Budynek jest całkowicie podpiwniczony i zwieńczony stropodachem dwudzielnym przełazowym, posiada grawitacyjny systemem wentylacji i jest ogrzewany z miejskiej sieci ciepłowniczej. Na każdym piętrze budynku znajdują się cztery narożne mieszkania, korytarze oraz szyb windy w centralnej jego części oraz klatka schodowa przy ścianie północnej. W roku 2004 w budynku została wymieniona stolarka, natomiast w 2006 została wykonana termomodernizacja ścian zewnętrznych budynku. Ściany zewnętrzne wykonane z płyt prefabrykowanych betonowych w systemie W70 o współczynniku $U=0,75$ [W/m²K]; po dociepleniu 10 cm warstwą styropianu wartość współczynnika U wynosi 0,25 [W/m²K], w budynku występują okna dwuszybowe o $U=1,5$ [W/m²K].

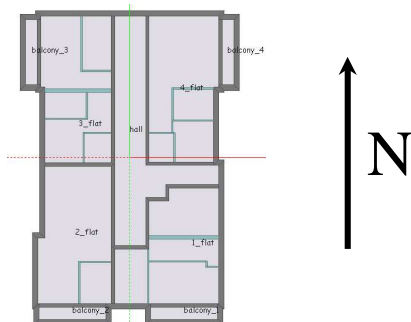


Rys. 1. Analizowany budynek: a) widok budynku od strony zachodniej, b) wizualizacja budynku w programie Design Builder

Fig. 1. Analyzed building: a) view from the west side of the building, b) the visualization of the building in the Design Builder

3. Założenia do symulacji

Głównym celem prowadzonych analiz było określenie rozkładu temperatury i wartości wskaźnika PMV dla poszczególnych mieszkań (Rys. 2), 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 użytkowane są jako „przestrzeń otwarta”. Orientacje przyjętych do symulacji mieszkań na poszczególnych poziomach kształtują się następująco: mieszkanie numer 1 – wschód-południe, mieszkanie numer 2 – południe-zachód, mieszkanie numer 3 – zachód-północ, mieszkanie numer 4 – północ-wschód.



Rys. 2. Wizualizacja rozkładu pomieszczeń

Fig. 2. Building zones visualization

W analizowanym budynku przeprowadzono dwa warianty symulacyjne przy założeniu typowych warunków użytkowych: 1) budynek w warunkach projektowych – przed termomodernizacją, 2) budynek po wykonaniu docieplenia. W kolejnym etapie porównano wyniki symulacji dla mieszkań zlokalizowanych na czterech wybranych poziomach: parter, trzecie, siódme i dziesiąte piętro. W analizach uwzględniono przede wszystkim okres pomiędzy 15 maja i 15 września, gdyż w okresie tym w Polsce występuje największe ryzyko przegrzewania pomieszczeń.

Ponadto do symulacji przyjęto dodatkowe założenia:

- 1) lokal jest ogrzewany od października do marca przez 7 dni w tygodniu, 24 godziny na dobę, przy średniej temperaturze w mieszkaniu 22°C ;
- 2) gęstość zaludnienia pomieszczeń stanowi 0,08 osoby na m^2 , co odpowiada średnio trzem osobom znajdującym się w każdym mieszkaniu;
- 3) sposób użytkowania mieszkania to 3 osoby w mieszkaniu pomiędzy 16:00 a 7:00 rano w dni robocze, oraz pomiędzy 18:00 i 9:00 rano w okresie weekendu; w pozostałym czasie liczbę użytkowników zredukowano o połowę (50%).
- 4) aktywność fizyczną użytkowników oraz izolacyjność odzieży przyjęto na

podstawie normy [1] na poziomie 1,2 met, w okresie zimowym = 1,0; clo w okresie letnim = 0,5 clo.

- 5) wymagania wentylacyjne przyjęto w oparciu o normę PN-83/B-03430 [2], wg której założono wymianę powietrza na poziomie 70 m³/godzinę w kuchni oraz 50 m³/godzinę w łazience.

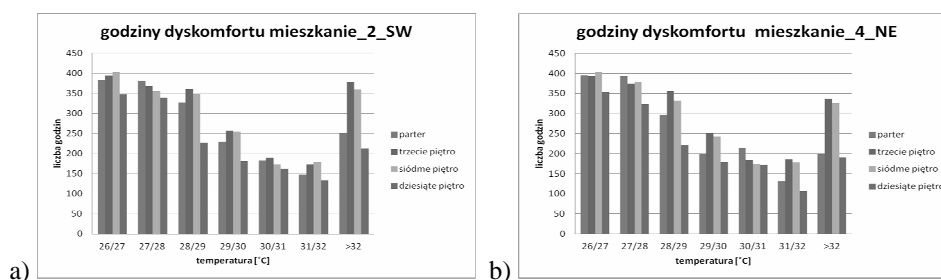
4. Wyniki przeprowadzonych symulacji

Przeprowadzone symulacje, których wyniki przedstawiono poniżej, wykazały, że w analizowanych mieszkaniach przez kilka dni, w okresie pomiędzy 15 maja, a 15 września, występują liczne przekroczenia średnich temperatur powietrza wewnętrznego. Zarejestrowano temperaturę powyżej 30°C oraz wskaźnik PMV większy od 2. Takie warunki mikroklimatu znacznie przekraczają zalecane maksymalne wartości temperatury (25°C) oraz zalecany przedział wartości wskaźnika PMV (-0,5 < PMV < +0,5).

Biorąc pod uwagę orientację mieszkań, co potwierdziły symulacje, najkorzystniejsze warunki pod względem komfortu cieplnego występują w mieszkaniu numer 4 (mieszkanie północno-wschodnie), natomiast najbardziej niekorzystne w mieszkaniu numer 2 (mieszkanie południowo-zachodnie). Rysunek 3a oraz 3b przedstawia ilość godzin przegrzania dla mieszkań numer 2 oraz 4 na wybranych piętrach budynku (parter, trzecie, siódme oraz dziesiąte piętro).

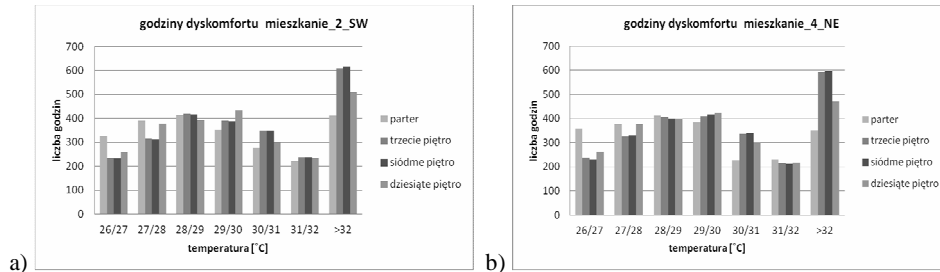
Co istotne, porównując wykresy, najwyższa liczba godzin przegrzania występuje w mieszkaniu na trzecim piętrze, a po wykonaniu docieplenia prawie dwukrotnie wzrasta. Ponadto mieszkanie najwyżżej usytuowane zamienia się pozycją z mieszkaniem na parterze przed i po dociepleniu.

Rysunek 4a i 4b przedstawia wyniki dla tych samych mieszkań przed i po termomodernizacji. Maksymalna temperatura wewnętrzna wynosi 35,80°C, a liczba godzin przegrzania w analizowanym okresie czasu wynosi w mieszkaniu nr 2 przed termomodernizacją 2120, a po termomodernizacji wynosi 2553, natomiast w mieszkaniu nr 4 przed termomodernizacją liczba godzin wynosi 2081, a po termomodernizacji 2526.



Rys. 3. a) Liczba godzin przegrzania dla mieszkania numer 2 (pd-zach) – przed dociepleniem, b) Liczba godzin przegrzania dla mieszkania numer 4 (pn-wsch) – przed dociepleniem

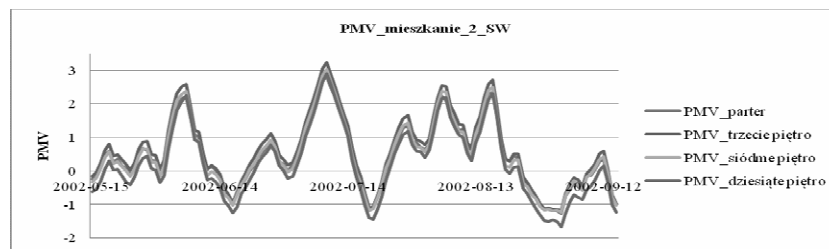
Fig. 3. a) Number of discomfort hours for flat 2 (south-west) at four levels – base case, b) Number of discomfort hours for flat 4 (north-east) at four levels – base case



Rys. 4. a) Liczba godzin przegrzania dla mieszkania numer 2 (pd-zach) – po dociepleniu, b) Liczba godzin przegrzania dla mieszkania numer 4 (pn-wsch) – po dociepleniu

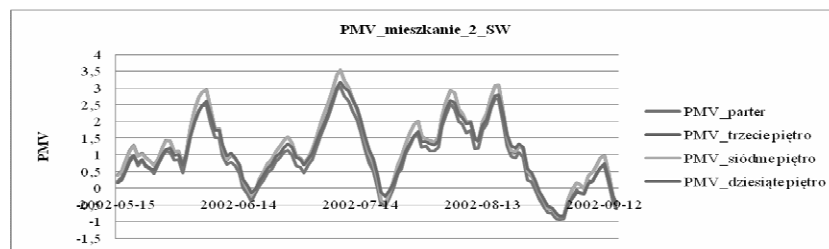
Fig. 4 a) Number of discomfort hours for flat 2 (south-west) at four levels – after thermal modernization, b) Number of discomfort hours for flat 4 (north-east) at four levels – after thermal modernization

Porównując wartości wskaźników PMV przed i po termomodernizacji okazało się, iż przekraczają one wartość 2, a w lipcu wartości te są nawet większe od 3 (Rys. 5 – porównanie dla południowo-zachodniego mieszkania na różnych poziomach w analizowanym okresie czasu pomiędzy 15 maja a 15 września). Wszystkie te wartości są znacznie wyższe po termomodernizacji.



Rys. 5.a. Wskaźnik PMV dla mieszkania nr 2 – południowo-zachodniego na czterech różnych poziomach przed termomodernizacją budynku

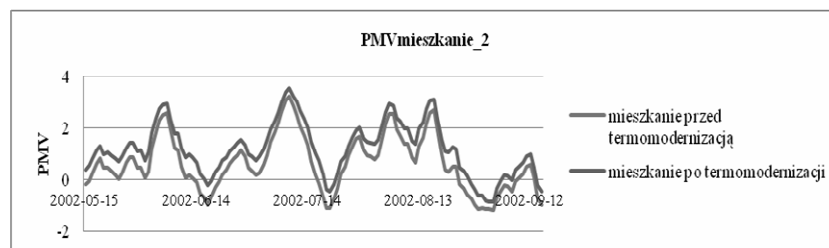
Fig. 5.a. PMV comfort indexes for south-west flat at different levels – before thermal modernization



Rys. 5.b. Wskaźnik PMV dla mieszkania nr 2 – południowo-zachodniego na czterech różnych poziomach po termomodernizacji budynku

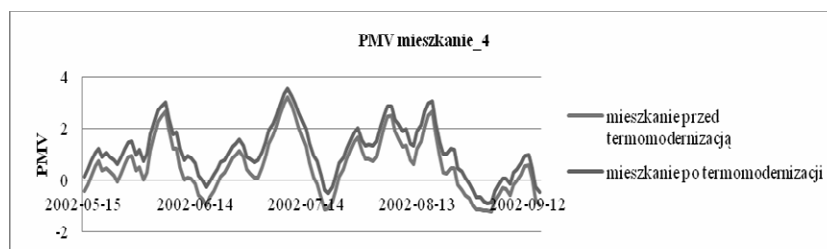
Fig. 5.b. PMV comfort indexes for south-west flat at different levels – after thermal modernization

We wszystkich mieszkaniach możemy także zaobserwować negatywny wpływ izolacji na mikroklimat pomieszczeń. W mieszkaniach zlokalizowanych na trzecim piętrze (numer 2 oraz numer 4), wartości wskaźników PMV po termomodernizacji są wyższe przez cały analizowany okres czasu (Rys 6a i 6b).



Rys. 6.a. Wskaźnik PMV dla mieszkania nr 2 – południowo-zachodniego na trzecim piętrze przed i po termomodernizacji

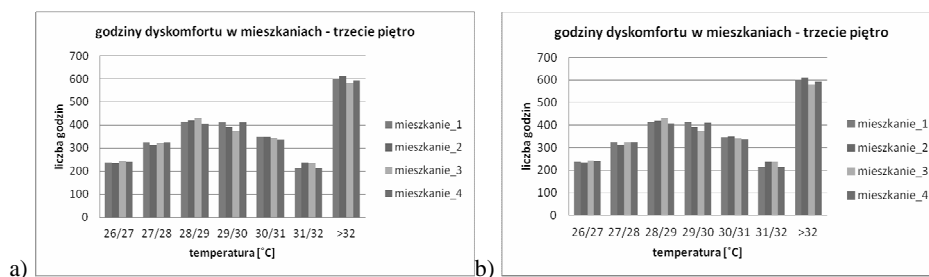
Fig. 6.a. PMV comfort indexes for south-west flat at third level – before and after thermal modernization



Rys. 6.b. Wskaźnik PMV dla mieszkania nr 4 – północno-wschodniego na trzecim piętrze przed i po termomodernizacji

Fig. 6.b. PMV comfort indexes for north-east flat at third level – before and after thermal modernization

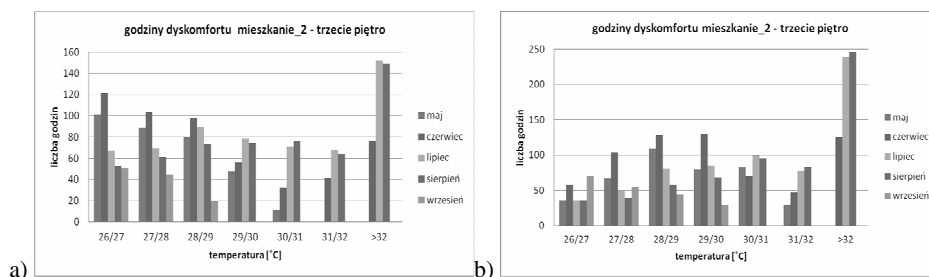
Ponieważ na przegrzewanie mieszkań duży wpływ ma ilość oraz lokalizacja przeszkleń dlatego w analizie rozważono również różną orientację przeszkleń. Porównania dokonano na trzecim piętrze budynku, przed i po termomodernizacji. Rysunek 7a i 7b wskazuje niewielkie różnice pomiędzy wynikami dla różnych mieszkań, niemniej jednak ilość godzin dyskomfortu przed i po termomodernizacji oraz ilość godzin z temperaturą powyżej 32°C wzrosła z 350 godzin przed dociepleniem do prawie 600 godzin po dociepleniu.



Rys. 7. a) Liczba godzin dyskomfortu dla mieszkań na trzecim piętrze – przed dociepleniem, b) Liczba godzin dyskomfortu dla mieszkań na trzecim piętrze – po dociepleniu

Fig. 7. a) Number of discomfort hours for flats at third level – before thermal modernization, b) Number of discomfort hours for flats at third level – after thermal modernization

Porównanie ilości godzin przegrzania w poszczególnych miesiącach dla mieszkania na trzecim piętrze, przed i po termomodernizacji, przedstawiają rysunki 8a oraz 8b. Dla budynku przed termomodernizacją w maju temperatury nie przekraczają wartości 30°C, chociaż wciąż występuje problem przegrzania mieszkań wiążący się z temperaturami przekraczającymi 25°C. Natomiast po dociepleniu przegród zewnętrznych już w maju pojawiają się temperatury wyższe od 30°C. Ponadto wszystkie wartości wzrosły po zabiegach termomodernizacyjnych, a wartości temperatur powyżej 32°C wzrosły prawie dwukrotnie.



Rys. 8. a) Liczba godzin przegrzania dla południowo - zachodniego mieszkania na trzecim piętrze budynku w analizowanych miesiącach – przed dociepleniem, b) Liczba godzin przegrzania dla południowo - zachodniego mieszkania na trzecim piętrze budynku w analizowanych miesiącach – po dociepleniu

Fig. 8. a) Number of discomfort hours for flat 2 (south-west) at the third level – before thermal modernization, b) Number of discomfort hours for flat 2 (south-west) at the third level – after thermal modernization

5. Wnioski

Wyniki z przeprowadzonych symulacji wykazały, że problem przegrzania występuje w budynkach wielkopłytkowych zarówno przed jak i po termomodernizacji. Przeszklenia są źródłem znacznych zysków słonecznych i powodują przegrzanie w miesiącach letnich. Mikroklimat we wszystkich mieszkaniach analizowanego budynku wielorodzinnego jest niekorzystny, a parametry opisujące komfort cieplny przekraczają wartości dopuszczalne.

Najbardziej niekorzystne warunki występują w mieszkaniu południowo-zachodnim na trzecim piętrze. Wyliczone temperatury przez większość czasu są znacznie wyższe od zalecanej wartości maksymalnej 25°C. Maksymalna temperatura wewnętrzna wynosi 34,70°C, a wskaźnik PMV przekracza 3. Liczba godzin przegrzania w analizowanym okresie czasu wynosi 2553. W okresie letnim te niekorzystne warunki utrzymują się w ciągu dnia i tylko nieznacznie zmieniają w okresie nocnym kiedy mieszkania muszą być chłodzone.

Reasumując, modernizacja budynków wielkopłytkowych powinna być poprzedzona analizą wpływu projektowanych zmian na komfort cieplny poszczególnych mieszkań. Priorytetem jest obniżenie zużycia energii na cele grzewcze w miesiącach zimowych, niemniej jednak nie należy zapominać, że komfort przebywania w tego typu budynkach nie może być pomijany. Przeprowadzone analizy wykazały że same zabiegi dociepleniowe obudowy budynku niekorzystnie wpływają na komfort cieplny w okresie letnim, a w projektowaniu należałoby uwzględnić zastosowanie zewnętrznych oraz wewnętrznych osłon celem zminimalizowania efektu przegrzania. Rozwiązania tego typu będą kolejnym krokiem analiz przeprowadzanych przez autorów.

Literatura

- [1] 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.
- [2] PN-83/B-03430 "Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej - Wymagania".
- [3] Nouidui, T. S., K. Phalak, W. Zuo, and M. Wetter: Validation and Application of the Room Model of the Modelica Buildings Library. LBNL Report Number LBNL-5932E 2012.
- [4] Orme M., Palme J.r, Irving S.: Control of Overheating in Well-Insulated Housing, CIBSE <http://www.cibse.org/pdfs/7borme.pdf>.
- [5] Nowak K.: Modernizacja budynków a komfort cieplny pomieszczeń. Energia i Budynek, ISSN 1897-5879, 29-33 2011.
- [6] Dębowski J.: Cała prawda o budynkach wielkopłytkowych Przegląd budowlany 9/2012.

THE INFLUENCE OF ISULATION ON THE THERMAL COMFORT IN THE LARGE PANEL BUILDINGS

Summary

It is estimated that in Poland, between 1960-1990, more than 4 million buildings were built in different prefabrication systems. What is more, it is estimated that at present more than 10 million Poles live in those large panel buildings, however those data are not very precise and confirmed. Nevertheless it makes the problems connected with proper usage, thermal insulation and first of all with reducing of heating energy demand of prefabricated large panel buildings, to be very important and common. The dominant criterion in the process of thermal modernization is to improve the energy performance of those buildings, in which the most common are insulation of building envelope combined with replacement of windows. However in the analyzing and designing process of thermal modernization no one takes into consideration aspects connected with thermal comfort and overheating problems in those buildings, which appear to be very important from the occupants' point of view.

The paper presents the results of the annual computational simulations of microclimate conditions conducted for the W70 panel building located in Cracow. The calculations were carried out in the Design Builder program which allows the analysis of microclimate of entire building as well as of separate parts of the building. Conducted analysis proved that the insulation of building envelope unfavorable affects the internal microclimate conditions. Based on the conducted simulations authors determined the influence of building orientation, individual flat location and thermal insulation on the thermal comfort in the different flats of prefabricated panel building.

Keywords: large panel buildings, thermal comfort, Design Builder, PMV, Fanger's method

Przesłano do redakcji: 09.12.2014 r.

Przyjęto do druku: 22.06.2015 r.

DOI:10.7862/rb.2015.63