

MODERNIZACJA BUDYNKÓW A KOMFORT CIEPLNY POMIESZCZEŃ

Katarzyna NOWAK

* Politechnika Krakowska – Zakład Budownictwa i Fizyki Budowli
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków,
e-mail: kaskanowa@poczta.onet.pl

Streszczenie: W referacie przedstawione zostaną wyniki całosezonowych obliczeń symulacyjnych dla modernizowanego budynku. Obliczenia wykonano przy użyciu programu Design Builder. Program ten jest narzędziem pozwalającym na symulację budynku oraz jego wnętrza przy wykorzystaniu programu Energy Plus. Dla polskich warunków klimatycznych przeprowadzone zostały symulacje pozwalające na ocenę warunków komfortu cieplnego budynku, poddanego różnym wariantom modernizacyjnym. Głównym celem przeprowadzonych analizy było określenie w jaki sposób rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne oraz zastosowane przeszklenia i osłony słoneczne wpłyną na oszczędności energetyczne dla budynku. Drugim aspektem tego zagadnienia to ochrona wnętrza budynku przed przegrzewaniem oraz ocena warunków komfortu cieplnego.

Słowa kluczowe: fizyka budowli, komfort cieplny pomieszczeń.

1. WPROWADZENIE

Dominującym kryterium podczas modernizacji budynków zarówno mieszkalnych jak i użyteczności publicznej jest poprawa charakterystyki energetycznej tych obiektów. W celu zmniejszenia ponoszonych kosztów na utrzymanie budynków podejmowane są inwestycje mające na celu przede wszystkim poprawę izolacyjności cieplnej przegród, sprawności instalacji ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej.

1.1. Przepisy dotyczące mikroklimatu pomieszczeń, ochrony cieplnej oraz poszanowania energii.

Akt prawny jakim jest rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie wymagania związane z oszczędnością energii w ogólnym sformułowaniu celu podaje, że „budynek i jego instalacje ogrzewcze, wentylacyjne i klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynku użyteczności publicznej również oświetlenia wbudowanego powinny być

zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby ilość ciepła, chłodu i energii elektrycznej, potrzebnych do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem, można było utrzymać na racjonalnie niskim poziomie.” [1]

Przy przebudowie istniejących budynków, uwzględniane są szczegółowe wymagania, dopuszczające zwiększenie wartości współczynników przenikania ciepła osłony lub zwiększenie wartości wskaźnika EP.

Istotnym aspektem zadania, polegającego na projektowaniu modernizacji obiektów istniejących, jest również opłacalność inwestycji i silnie związany z tym odpowiedni dobór rozwiązań modernizacyjnych.

Trzeba mieć na uwadze, że projektowanie nowego budynku jak również modernizacja istniejącego wiąże ze sobą zagadnienia interdyscyplinarne. Z samej dziedziny fizyki budowlanej problematyka zawiera zagadnienia związane z oszczędnością energii, komfortem cieplnym jak i izolacyjnością akustyczną.

Nową problematyką wskazaną do egzekwowania w wymaganiach związanych z oszczędnością energii i izolacyjnością cieplną obowiązujących od 1 stycznia 2009 roku jest informacja o nadmiarze energii promieniowania słonecznego. Pojawia się po raz pierwszy wymaganie, brzmiące: budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby ograniczyć ryzyko przegrzewania w okresie letnim.

W dokumentacji projektowej budynków aspekt i wymagania ochrony cieplnej są coraz rzetelniej uwzględniane. Niestety praktyka projektowa bardzo rzadko uwzględnia wymagania związane z efektem przegrzania. Z tą problematyką w silny sposób łączy się zapewnienie odpowiednich warunków komfortu cieplnego pomieszczeń w szczególności w okresie letnim.

1.2. Komfort cieplny

Oceniając komfort cieplny pomieszczeń nie wolno zapominać, że stworzony w budynku mikroklimat wnętrza jest rezultatem końcowym działalności pracy projektowej, wykonawczej jak też sposobu eksploatacji pomieszczeń.

Komfort cieplny definiowany jako stan, w którym człowiek czuje, że jego organizm znajduje się w stanie zrównoważonego bilansu cieplnego, tzn. nie odczuwa ani uczucia ciepła, ani zimna, oceniany jest najczęściej dopiero na etapie użytkowania budynków.

Niepożądane dla człowieka są również zjawiska nagrzewania lub chłodzenia poszczególnych części ciała. Określanie więc uczucia komfortu cieplnego w całym pomieszczeniu jest problematyką dosyć indywidualną i subiektywną. Badania, z tym związane, podjęte były już kilkadziesiąt lat temu.

Europejska norma „Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźnika PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego” wskazuje metodę oceny komfortu cieplnego.

Na ocenę komfortu cieplnego wpływa szereg czynników: aktywność fizyczna człowieka, izolacyjność odzieży oraz parametry otoczenia takie jak: temperatura powietrza, średnia temperatura promieniowania, prędkość przepływu powietrza oraz wilgotność względna powietrza.

Wskaźnik określający odczuwanie ciepła przez ludzi PMV (statystyczny wskaźnik odczuwania ciepła) wyrażany jest w siedmiostopniowej skali ocen: od wartości -3 do wartości +3. Zalecane jest aby wartość powyższego wskaźnika mieściła się w zakresie $-0,5 < PMV < +0,5$.

Ocena komfortu cieplnego za pomocą normowych wskaźników PMV i PPD posługuje się metodą Fangera, określono równaniem:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,306 \cdot M) + 0,028] \cdot ((M-W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M-W) - p_a]) - 0,42 \cdot [(M-W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [t_{cl} + 273]^4 - (t_r + 273)^4 - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad (1)$$

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

gdzie:

M – wielkość metabolizmu W/m^2 ;

W – jest gęstością utraty energii w postaci pracy mechanicznej, W/m^2 ;

I_{cl} – izolacyjność odzieży, m^2K/W

f_{cl} – powierzchnia ubrania;

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 projek-

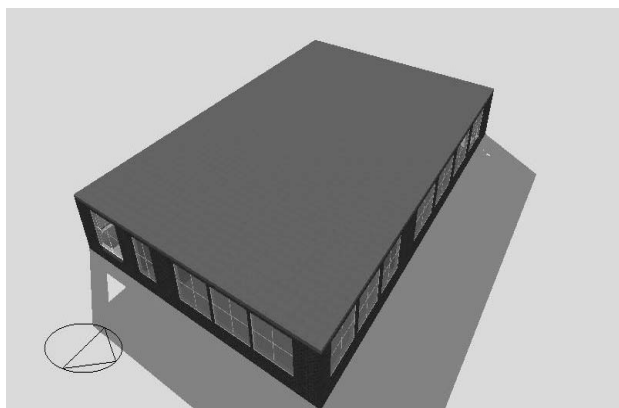
tom zadanie oceny tych parametrów oraz zadanie analizy wpływu właściwości zewnętrznych przegród budynku na komfort cieplny projektowanych pomieszczeń.

1.3. Przedmiot obliczeń symulacyjnych

Odnosząc się do zapisu w Warunkach Technicznych dotyczącego przegrzewania w okresie letnim w referacie podjęto pierwsze próby oceny wpływu rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych oraz architektonicznych na komfort cieplny pomieszczeń w okresie letnim w modernizowanym obiekcie.

Analizę obliczeniową przeprowadzono dla budynku o funkcji biurowo – dydaktycznej. Jest to prostopadłościenny, jednokondygnacyjny budynek o wymiarach 30m x 20m x 6m.

Budynek charakteryzuje się bardzo dużą ilością równomiernie rozplanowanych okien. Wizualizację obiektu przedstawia rys. 1



Rys. 1. Wizualizacja obiektu

Fig. 1. Building visualization

Procentowy udział powierzchni przeszkleń na poszczególnych elewacjach jest następujący:

N – 40%

S – 38%

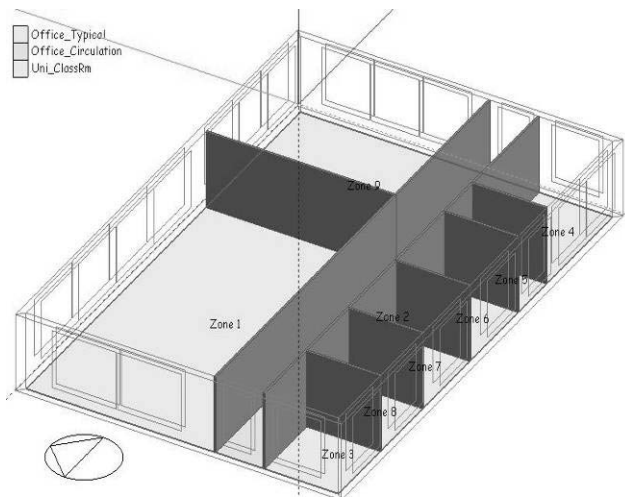
E – 45%

W – 43%

Budynek przed pracami termo-modernizacyjnymi charakteryzuje się bardzo słabą izolacyjnością poszczególnych przegród:

Ściany zewnętrzne obustronnie tynkowane z cegły pełnej: $U = 1,51 [W/m^2K]$, stropodach żelbetowy, izolowany 5cm warstwą styropianu: $U = 0,59 [W/m^2K]$, izolowana 5cm warstwą styropianu podłoga na gruncie: $U = 0,50 [W/m^2K]$, natomiast okna podwójnie szklone o współczynniku przenikania ciepła: $U = 2,70 [W/m^2K]$.

Budynek posiada tylko wentylację grawitacyjną, ogrzewanie grzejnikami konwekcyjnymi przy zastosowaniu kotła gazowego.



Rys. 2. Wizualizacja rozkładu pomieszczeń.
Fig. 2. Building zones visualization

Rozkład funkcjonalny pomieszczeń przedstawia rys 2. Przestrzeń komunikacyjna - korytarz usytuowana jest w środkowej części budynku, natomiast pokoje biurowe zlokalizowane są od strony południowej. Zajmują one niewielką powierzchnią ale w każdym udział powierzchni okna w ścianie zewnętrznej jest bardzo istotny. Sale wykładowe posiadają jedną ścianę zewnętrzną zorientowaną na kierunek północny oraz drugą w kierunku wschodnim lub zachodnim.

Wykonano symulacyjne obliczenia przy użyciu programu Design Builder v.2. Jest to program służący do całorocznej, dynamicznej symulacji budynków wraz z instalacjami, zawierający moduł obliczeniowy EnergyPlus, moduł CFD do analizy rozkładu temperatury i ruchu powietrza oraz moduł do wizualizacji danych wejściowych i wyników

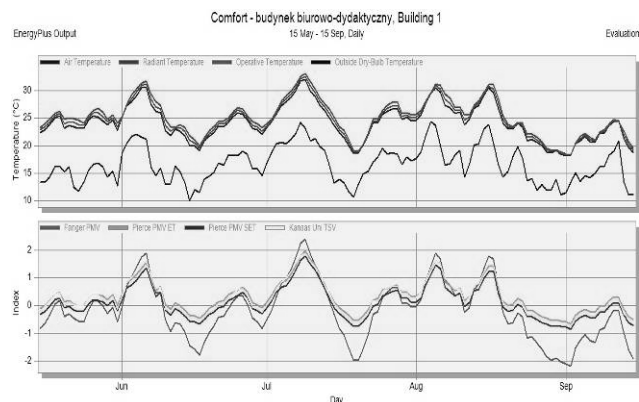
Korzystając z danych klimatycznych bazy programu Energy Plus symulacje obliczeniowe wykonane zostały dla lokalizacji obiektu w Krakowie. Celem analiz było wyznaczenie temperatury powietrza wewnętrznego w okresie letnim w poszczególnych strefach budynku w zależności od ich lokalizacji względem stron świata. Dominującym aspektem obliczeń była ocena komfortu cieplnego. W poszczególnych pomieszczeniach uwzględniane były wewnętrzne zyski ciepłe związane z funkcją tych pomieszczeń, oraz tak istotnie wpływające na komfort cieplny czynniki jak: aktywność fizyczna osób przebywających w pomieszczeniach, izolacyjność ich odzieży. Dla okresu lata przyjęto izolacyjność odzieży $clo = 0,5$ a dla okresu zimy $clo = 1,0$.

1.4. Wyniki przeprowadzonych analiz

W wyjściowym, nieizolowanym budynku otrzymane w wyniku symulacji rezultaty nie pozwalają na pozytywną ocenę komfortu zarówno w całym budynku jak i w poszczególnych jego strefach.

Na podstawie wyników przedstawionych na rys. 3 można zaobserwować, iż w analizowanym okresie od 15 maja do

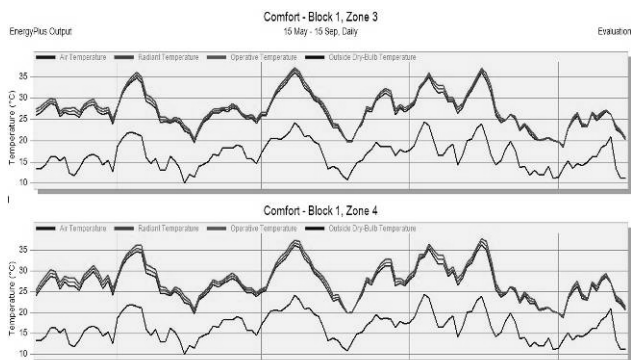
15 września, pojawiają się dni kiedy średnie wartości temperatury powietrza w całym budynku przekraczają 30°C , a współczynnik komfortu PMV osiąga wartość 2 większą. Takie warunki mikroklimatu panującego w budynku znacznie przekraczają optymalną dla okresu lata temperaturę 25°C oraz zalecaną wartość wskaźnika $-0,5 < PMV < +0,5$.



Rys. 3. Budynek,
a - rozkład temperatury powietrza wewn., zewn.,
b - wskaźnik komfortu PMV

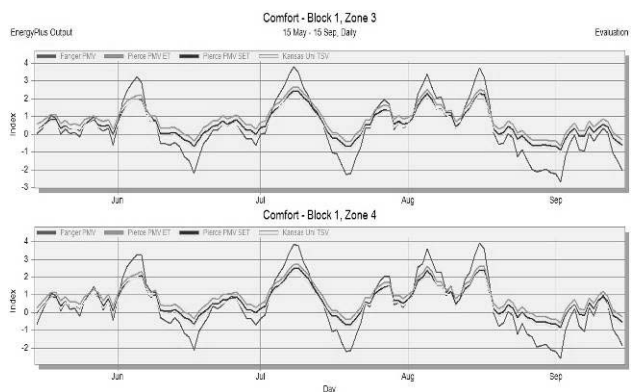
Fig. 3. Building
a - air temperature inside, outside,
b - PMV comfort factor

Natomiast strefa 3 i 4 budynku czyli pomieszczenie biurowe w narożach południowo-wschodnim oraz południowo-zachodnim przez większą część analizowanego okresu charakteryzują się temperaturą operatywną pomieszczeń znacznie przekraczającą 25°C , a przez kilkanaście dni lata nawet 30°C (rys. 4). W pierwszej dekadzie czerwca i lipca oraz prawie do połowy sierpnia w omawianej strefie wskaźnik komfortu cieplnego PMV przekracza wartość 2,0, pokazującą, że dla osób pracujących w tych pomieszczeniach jest zbyt ciepło (rys. 5)



Rys. 4. Budynek wyjściowy, rozkład temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego
 a - w strefie 3;
 b - w strefie 4.

Fig. 4. Reference building
 a - air temperature inside, outside – zone 3
 b - air temperature inside, outside – zone 4

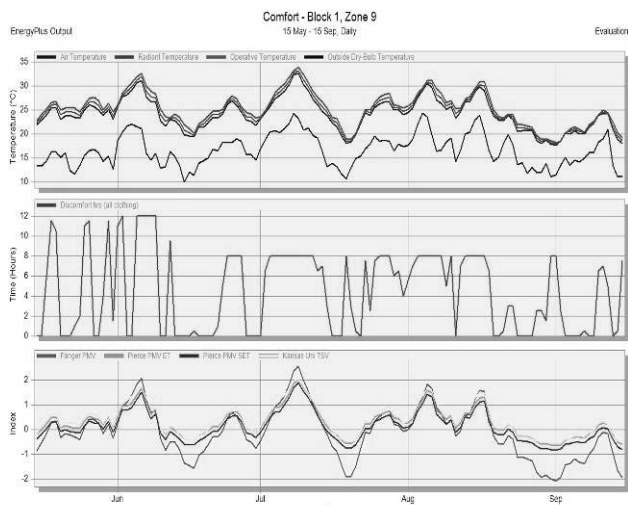


Rys. 5. Budynek wyjściowy, rozkład zmian wartości wskaźnika komfortu cieplnego PMV
 a - w strefie 3;
 b - w strefie 4.

Fig. 5. Reference building
 a - PMV comfort factor – zone 3
 b - PMV comfort factor – zone 4

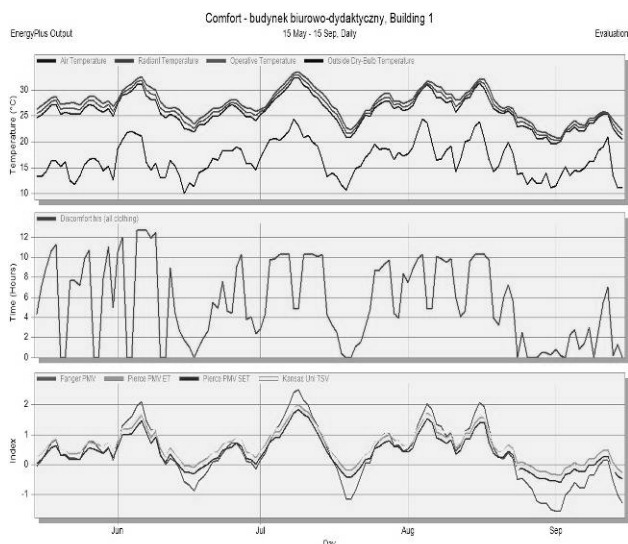
Stanowczo lepiej kształtuje się mikroklimat pomieszczenia, którego ściany zewnętrzne z otworami okiennymi usytuowane są od strony północnej i wschodniej. W tej strefie (strefa 9 wg rys. 2) w pierwszej dekadzie lipca pojawia się dłuższy okres dyskomfortu cieplnego związany ze zbyt wysoką temperaturą powietrza w pomieszczeniach (rys. 6 b).

Modernizacja budynku, polegająca na poprawie właściwości cieplnych przegród oraz wymianie stolarki okiennej wpłynęła na zmianę parametrów mikroklimatu pomieszczeń. Dla analizowanego okresu wiosenno- letniego wyniki symulacji obliczeniowych dla całego budynku przedstawia rys. 7.



Rys. 6. Budynek wyjściowy, strefa 9,
 a - rozkład temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego,
 b - godziny dyskomfortu cieplnego,
 c - wskaźnik komfortu PMV

Fig. 6. Reference building – zone 9
 a - air temperature inside, outside
 b - discomfort hours
 c - PMV comfort factor



Rys. 7. Budynek modernizowany,
 a - rozkład temperatury powietrza wewnętrznego, zewnętrznego; b -
 - godziny dyskomfortu cieplnego,
 c - wskaźnik komfortu PMV

Fig. 7. Modernized building
 a - air temperature inside, outside
 b - discomfort hours
 c - PMV comfort factor

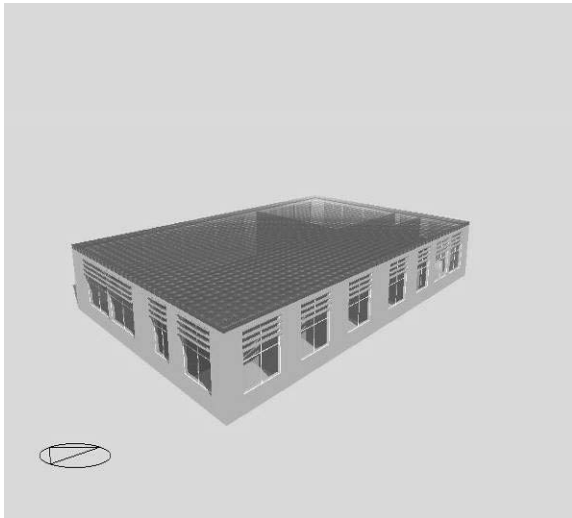
Poprawa izolacyjności:

- ścian zewnętrznych do wartości $U = 0,23 \text{ [W/m}^2\text{K]}$,
- stropodachu do wartości $U = 0,22 \text{ [W/m}^2\text{K]}$
- oraz wymiana stolarki okiennej na okna o izolacyjności $U = 1,6 \text{ [W/m}^2\text{K]}$

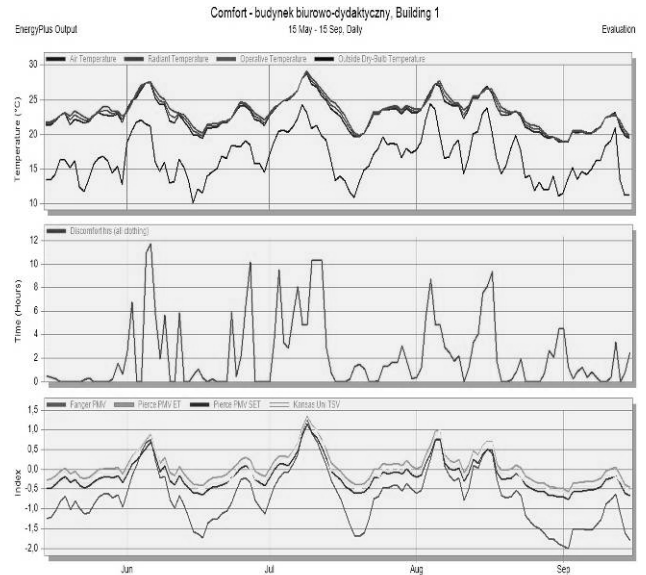
pozwoiliło w niewielkim stopniu zmniejszyć dyskomfort cieplny pomieszczeń, wynikający przede wszystkim ze zbyt wysokiej temperatury wewnętrznej powietrza.

Na taką sytuację największy wpływ ma bardzo duży procentowy udział przeszklenia, szczególnie w elewacji południowej. Duże powierzchnie przeszklone powodują generowanie nadmiernej ilości zysków słonecznych, szczególnie w niewielkich pomieszczeniach biurowych.

Aby ograniczyć, ten niekorzystny dla okresu letniego, wpływ powierzchni przeszklonych w kolejnym etapie modernizacyjnym zastosowano wewnętrzne i zewnętrzne elementy zacięniające z powierzchniami refleksyjnymi. Na zewnętrznych elewacjach zastosowano panele zacięniające (rys. 8).



Rys. 8. Wizualizacja modernizowanego budynku.
Fig. 8. Modernized building visualization

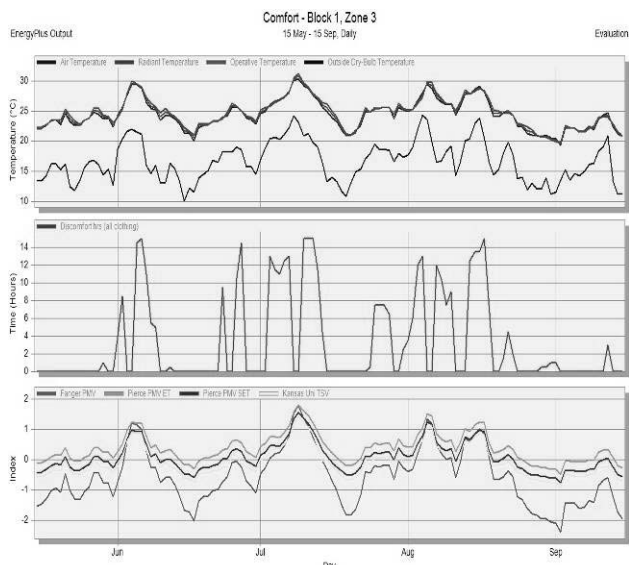


Rys. 9. Modernizowany budynek z elementami zacięniającymi;
a - rozkład temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego,
b - godziny dyskomfortu cieplnego,
c - wskaźnik komfortu PMV
Fig. 9. Modernized building with shadings
a - air temperature inside, outside
b - discomfort hours
c - PMV comfort factor

Pozytywne efekty tych działań modernizacyjnych przedstawiają wykresy na rys. 9. Wykazują one obniżenie i wyrównanie temperatury powietrza wewnętrznego w całym budynku (wykres a rys.9) jak i znaczne obniżenie ilości godzin dyskomfortu cieplnego (wykres b rys.9)

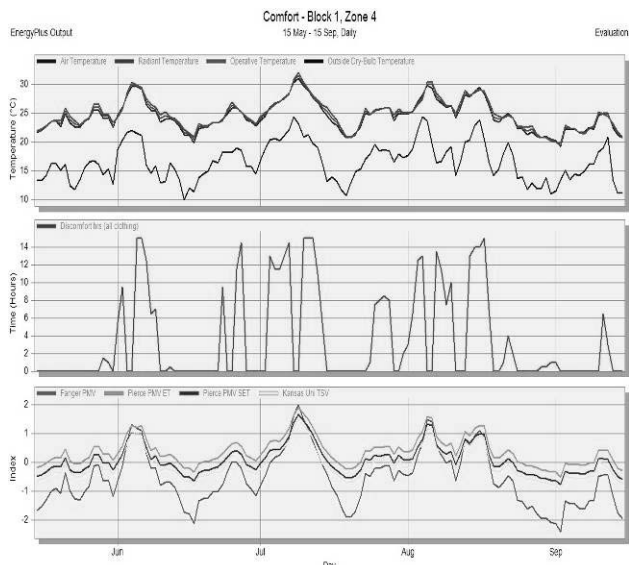
Dla elewacji południowej, charakteryzującej się dużymi powierzchniami przeszklonymi zastosowanie elementów zacięniających wpłynęło w znaczący sposób na poprawę warunków komfortu cieplnego w strefie 3 i 4.

Przedstawione na rys. 10, 11 wyniki komputerowych symulacji obliczeniowych dla okresu od 15 maja do 15 września wykazują znaczne zmniejszenie ilości godzin tzw. dyskomfortu cieplnego. Ograniczona została również znacząco ilość dni, w których wskaźnik PMV przekracza wartość 1,5.



Rys. 10. Modernizowany budynek, Strefa 3, a - rozkład temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, b - godziny dyskomfortu cieplnego, c - wskaźnik komfortu PMV.

Fig. 10. Modernized building – zone 3 a - air temperature inside, outside b - discomfort hours c - PMV comfort factor



Rys. 11. Modernizowany budynek, Strefa 4, a - rozkład temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego b - godziny dyskomfortu cieplnego, c - wskaźnik komfortu PMV

Fig. 11. Modernized building – zone 4 a - air temperature inside, outside b - discomfort hours c - PMV comfort factor

2. WNIOSKI

Wiele nowo projektowanych budynków biurowych, użyteczności publicznej charakteryzuje się dużymi powierzchniami przeszklonymi i mimo doboru poprawnej izolacyjności poszczególnych elementów bryły budynku, nadmierne przeszklenia generują zbyt duże, niepożądane zyski słoneczne w okresie letnim a w konsekwencji bardzo niekomfortowe warunki pracy.

Przy takich propozycjach rozwiązań architektonicznych fasad koniecznym wydaje się określenie na etapie koncepcji projektu warunków komfortu cieplnego nie tylko dla całego budynku ale szczególnie dla stanowisk pracy.

Zaprezentowane w artykule wyniki symulacji stanowią początkowy etap prac nad wpływem sposobu modernizacji budynku na warunki komfortu cieplnego pomieszczeń w okresie letnim.

Ten etap badań i analiz pozwala na wysunięcie następujących wniosków:

1. Przy modernizacji budynków powinna być przeprowadzona analiza wpływu zmian na komfort cieplny pomieszczeń.
2. Przy dużej powierzchni przeszkleń budowy budynku konieczne jest zastosowanie osłon słonecznych, aby uzyskać komfortowe warunki cieplne.
3. Brak systemów zacięniających (wewnętrznych i zewnętrznych) wiąże się z koniecznością chłodzenia pomieszczeń w celu uniknięcia przegrzania.

MODERNIZATION OF BUILDINGS AND THERMAL COMFORT OF ROOMS

Summary: The paper present the results of simulation for upgraded building. Calculations were performed using Design Builder. This program is a tool for simulation of the building and its interior by using Energy Plus. For the Polish climate simulations have been carried out to assess the conditions for thermal comfort of the building in a different variants of modernization. The main objective of the study was to determine how the material and structural solutions, and used the glass and the sunshades, influent on energy savings for a building. The second aspect of this issue is the building interior protection from overheating and conditions evaluation of thermal comfort.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. Nr 75, poz 690, 2002 r.
- [2] Budownictwo Ogólne tom2. Fizyka Budowli. Praca zbiorowa pod kierunkiem P. Klemma, Warszawa 2005r.
- [3] PN –EN ISO 7730 „Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźnika PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu cieplnego.