

mgr inż. Wojciech Kroner^{1*)}
mgr inż. Paulina Jakubowska¹⁾
mgr inż. Paweł Noszczyk²⁾

Ochrona pomieszczeń przed przegrzewaniem w okresie letnim w aspekcie komfortu termicznego

Protection of rooms against overheating in the summer period in the aspect of thermal comfort

DOI: 10.15199/33.2019.09.03

Streszczenie. Przegrzewanie pomieszczeń w okresie letnim staje się coraz większym problemem w nowych budynkach zarówno pod względem użytkowym, jak i finansowym. Wymagania dotyczące tej kwestii zawarte w krajowych przepisach są niewystarczające. W artykule przedstawiono analizę komfortu termicznego przykładowego pomieszczenia biurowego w zależności od stosunku powierzchni okna do powierzchni pomieszczenia. Porównano temperaturę wewnętrzną utrzymaną na drodze symulacji komputerowej z temperaturą komfortu dla użytkowników oraz przedstawiono koszty chłodzenia w porównaniu z kosztami ogrzewania tego samego pomieszczenia. Okazało się, że spełnienie wymagań zawartych w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych wykonania i odbioru robót (WT) nie gwarantuje zachowania komfortu termicznego w pomieszczeniach.

Słowa kluczowe: przegrzewanie pomieszczeń, komfort termiczny, symulacje pomieszczeń, temperatura powietrza wewnętrznego, efektywność energetyczna

Abstract. Overheating of rooms in summer period becomes an increasing problem in new buildings, both in terms of utility and finances. The requirements in this respect contained in national regulations are insufficient. The article presents an analysis of thermal comfort for an exemplary office space, depending on the ratio of the window surface to the room surface. The internal temperatures obtained by computer simulation were compared with the comfort temperatures for users and the cooling costs were compared to the heating costs of the same room. The conclusion was made that meeting the requirements of WT (national regulations) does not guarantee thermal comfort in the rooms.

Keywords: room overheating, thermal comfort, room simulations, indoor air temperature, energy efficiency.

W ostatnich latach zaobserwować można upały utrzymujące się przez wiele dni. Z drugiej strony obecny trend w architekturze stawiający na duże powierzchnie przeszklone powoduje, że pomieszczenia narażone są na przegrzewanie [2]. Problem ten najczęściej rozwiązywany jest przez zastosowanie dodatkowego systemu chłodzenia. Na etapie projektowania budynków zwraca się szczególną uwagę na ich energooszczędność w okresie zimy. Budynki energooszczędne powinny jednak charakteryzować się również małym zużyciem energii latem, a przy tym być komfortowy dla użytkowników.

Opisana sytuacja może wynikać z faktu, że jedyne liczbowe wymaganie dotyczące ochrony przed przegrzewaniem pomieszczeń zawarte jest w WT. W załączniku nr 2 w pkt 2.1 zapisano waru-

nek graniczny dotyczący współczynnika przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego okien oraz przegród szklanych i przezroczystych:

$$g = f_c \cdot g_n < 0,35 \quad (1)$$

gdzie:

f_c – współczynnik redukcji promieniowania, ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne;

g_n – współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego danego typu oszklenia.

Warunku w wzoru 1 nie stosuje się jednak do okien:

a) o kierunku od północno-zachodniego do północno-wschodniego, których nachylenie do poziomu przekracza 60°;

b) chronionych przed promieniowaniem słonecznym elementem zaciennającym;

c) o powierzchni mniejszej niż 0,5 m².

Zgodnie z normą ISO 7730 komfort termiczny w pomieszczeniu jest to taki stan, który wyraża zadowolenie z panujących w nim warunków termicznych. Do oceny komfortu termicznego najczęściej wykorzystuje się wskaźniki: PMV

(Predictive Mean Vote) oraz PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*). Szczegółowy opis obu wskaźników oceny można znaleźć w literaturze [1, 5, 7].

W artykule zwrócono uwagę na problem przegrzewania się pomieszczeń spełniających polskie wymagania prawne. Wykonano symulacje komputerowe z wykorzystaniem oprogramowania WUFI PLUS i oceniono komfort termiczny symulowanych pomieszczeń w zależności od stopnia przeszklenia elewacji. Pokazano również analizę kosztów ogrzewania i chłodzenia w przypadku przyjętych wariantów obliczeniowych.

Metoda badawcza

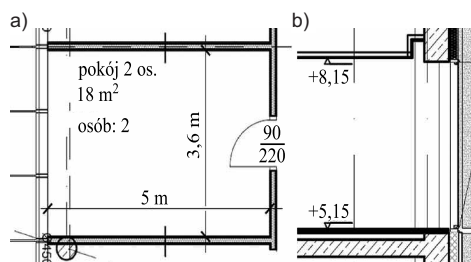
Duże powierzchnie przeszkleń elewacji są obecnie najczęściej spotykane w budynkach biurowych. Trafiająca do wnętrza pomieszczeń energia słoneczna powoduje przegrzewanie ich [8, 9]. Przeprowadzono obliczenia komfortu termicznego dla typowego pomieszczenia biurowego o powierzchni 18 m² i wysokości w świetle 3 m (kubatura 54 m³), przeznaczonego dla dwóch osób (rysunek 1).

¹⁾ Graner+Partner sp. z o.o.

²⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Adres do korespondencji:

wojciech.kroner@graner-consulting.com



Rys. 1. Pomieszczenie biurowe, w którym przeprowadzono symulację komfortu termicznego: a) rzut; b) przekrój

Fig. 1. The office room for which thermal comfort simulations have been carried out: a) floor plan; b) cross section

W analizowanym modelu biura uwzględniono przegrody ciężkie: stropy żelbetowe ($U = 0,456 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$); ściana zewnętrzna żelbetowa 25 cm + wełna mineralna 16 cm ($U = 0,228 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$); ściana wewnętrzna z cegły silikatowej grubości 11,5 cm ($U = 2,299 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$). W symulacjach wariantowano różny stopień powierzchni okna do powierzchni pomieszczenia: 20% (3,6 m²); 30% (5,4 m²); 40% (7,2 m²); 50% (9,0 m²); 60% (10,8 m²) – w nawiasach podano powierzchnię przeszklenia.

W każdym z wariantów założono niezmiennie parametry stolarki okiennej, tj. współczynnik przenikania ciepła $U_w = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, udział ramy na poziomie 20%, współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego szyby $g_n = 0,34$ (wartość spełniająca wymagania prawne) oraz brak osłon przeciwsłonecznych. Pozostałe założenia przyjęte do obliczeń zamieszczono w tabeli.

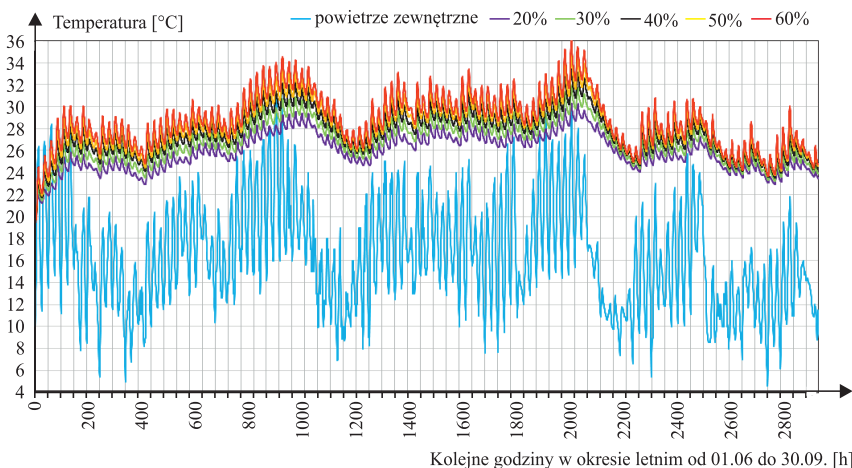
Wybrane wyniki badań

Na podstawie przyjętych założeń wykonano symulacje komputerowe dla godzinowego kroku czasowego w oprogramowaniu WUFI PLUS. Na rysunku 2 przedstawiono zależność pomiędzy powierzchnią okna a temperaturą w pomieszczeniu (im większe okno, tym wyższa wartości temperatury). W najmniej korzystnym wariantcie (okno stanowi 20% powierzchni użytkowej pomieszczenia – linia czerwona) temperatura przekracza 35°C. Zgodnie z normą [4], zalecana temperatura, do której należy chłodzić przegrzewane pomieszczenia biurowe, wynosi 26°C (warunki wewnętrzne normalne – kategoria II).

Założenia przyjęte do symulacji komfortu cieplnego

Assumptions made for thermal comfort simulation

Rodzaj założenia	Założenia przyjęte do obliczeń
Lokalizacja	Kraków (godzinowe dane klimatyczne), fasada południowa
Czas użytkowania	8:00 – 16:00
Obciążenia wewnętrzne	w czasie użytkowania 360 W (zgodnie z metodą sporządzania świadectw energetycznych)
Wentylacja	w czasie użytkowania 0,5/h (zgodnie z metodą sporządzania świadectw energetycznych)
Infiltracja powietrza	0,1/h (wartość dla rozpatrywanego pomieszczenia)
Klimat w pomieszczeniach sąsiednich	biura – taki sam, jak w pomieszczeniu analizowanym; korytarz – klimat wg normy PN-EN 15026
Okres obliczeń	od 1 czerwca do 30 września (dla okresu chłodzenia); cały rok (obliczenia dotyczące ogrzewania)

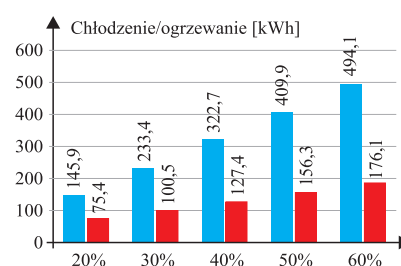


Rys. 2. Temperatura powietrza wewnątrz analizowanego pomieszczenia biurowego przy różnym stosunku powierzchni okna do powierzchni pomieszczenia

Fig. 2. The air temperature values inside the analyzed office room, for a different ratio of the window area to the room area

W przypadku gdy pracodawca chciałby zapewnić komfortowe warunki pracy swoim pracownikom (chłodzenie pomieszczenia do 26°C) przy użyciu klimatyzacji, to zakładając koszt energii elektrycznej na poziomie 0,50 zł netto/kWh (dane z Urzędu Regulacji Energetyki za 2017 r.), przewidywany koszt zapotrzebowania na energię wyniesie 200 zł za sezon w przypadku jednego biura (wariant 60%).

Na rysunku 3 przedstawiono analizę porównawczą zapotrzebowania na moc grzewczą i moc chłodniczą oraz koszty energii ogrzewania i chłodzenia rozpa-



	20%	30%	40%	50%	60%
Chłodzenie [kWh]	145,9	233,4	322,7	409,9	494,1
Ogrzewanie [kWh]	75,4	100,5	127,4	156,3	176,1

Rys. 3. Zapotrzebowanie na moc chłodniczą oraz grzewczą i koszty obu systemów w przeliczeniu na 1 m² biura w przypadku różnych wariantów symulacji

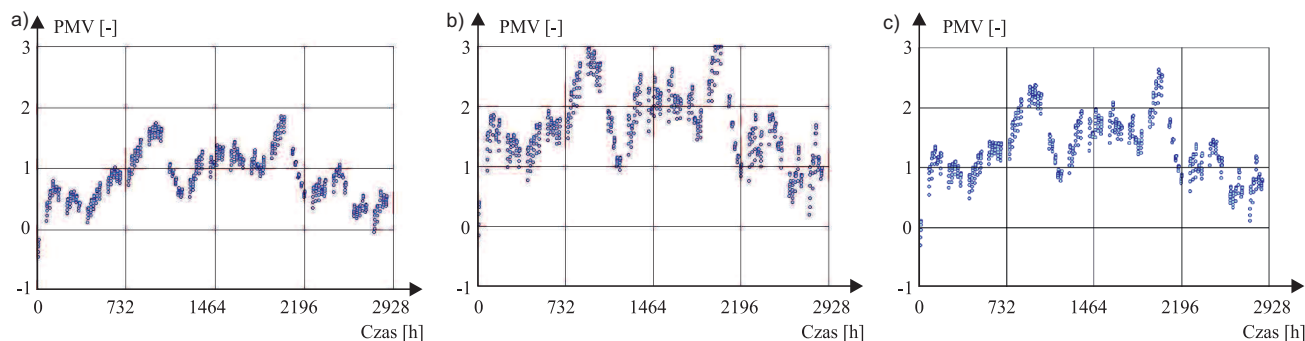
Fig. 3. Demand for cooling and heating power and costs of both systems per 1 m² office for various simulation variants

trywanego pomieszczenia biurowego. W analizie przyjęto jako okres obliczeniowy cały rok. Pomieszczenie ogrzewano do 20°C w dni robocze w godzinach od 7:00 do 17:00, natomiast

	20%	30%	40%	50%	60%
zł/m ² (chłodzenie)	4,05	6,50	9,00	11,40	13,70
zł/m ² (ogrzewanie)	1,00	1,30	1,70	2,10	2,50

w pozostałym czasie utrzymywano temperaturę 16°C. Założono, że system chłodzenia obniżał latem temperaturę w pomieszczeniu do 26°C tylko w godzinach pracy od 8:00 do 16:00. Koszt energii elektrycznej na chłodzenie przyjęto jak wcześniej, natomiast koszty ogrzewania założono na poziomie 0,24 zł netto/kWh (dane z Urzędu Regulacji Energetyki za rok 2017 (rysunek 3)).

Na rysunku 4 pokazano różnicę w przewidywanej średniej ocenie komfortu cieplnego (PMV) w przypadku wariantów powierzchni okna do powierzchni pomieszczenia wynoszących 20%,



Rys. 4. PMV w okresie od 1 czerwca do 30 września w przypadku analizowanego biura w wariancie stosunku powierzchni okna do powierzchni pomieszczenia: a) 20%; b) 60%; c) 40%; przy wartości PMV: 0 neutralnie; +1 lekko ciepło; +2 ciepło; +3 gorąco

Fig. 4 PMV chart for the period from June 1 to September 30, for the analyzed office in the variant of the ratio of the window area to the room area: a) 20%; b) 60%; c) 40%. PMV values: 0 neutral, +1 slightly warm, +2 warm, +3 hot

40% i 60% (okna południowe). Zwiększenie powierzchni okna znacznie pogorsza wskaźnik PMV.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone symulacje temperatury powietrza wewnętrznego na przykładzie pomieszczenia biurowego wskazały, że w polskim Prawie budowlanym wymagania stawiane stolarcze okiennej są niewystarczające do określenia komfortu termicznego ze względu na możliwość przegrzania pomieszczeń w okresie letnim.

Z analizy wynikają następujące wnioski:

1) spełnienie wymagań zawartych w WT nie gwarantuje zachowania komfortu termicznego w pomieszczeniach, a spełnienie wymagania dotyczącego samej szyby, której wartość współczynnika przepuszczalności $g_n \leq 0,35$, nie wymaga od projektanta zastosowania dodatkowych zasłon słonecznych;

2) brak zapewnienia komfortu termicznego w pomieszczeniach często wymusza na użytkownikach montaż dodatkowych urządzeń technicznych w celu obniżenia temperatury (wcześniej nieuwzględnianych przy obliczaniu charakterystyki energetycznej budynku), co skutkuje dużym wzrostem kosztów utrzymania oraz zwiększeniem energochłonności budynku. Moc chłodniczą urządzeń można skutecznie ograniczyć przez odpowiednie zaprojektowanie budynku;

3) polskie prawo nie podaje maksymalnej temperatury powietrza, jaka powinna być zachowana w pomieszczeniach użytkowych, co może skutkować

zaniedbaniem tej kwestii na etapie projektowania budynków;

4) współczesne budynki energooszczędne charakteryzują się małym zapotrzebowaniem na energię do ogrzewania, ale wysokim zapotrzebowaniem na energię do chłodzenia. Przekłada się to na aspekt finansowy – koszty chłodzenia budynku latem mogą przekroczyć koszty ogrzewania budynku zimą ze względu na ocieplenie się klimatu.

Podczas projektowania budynku i obliczania jego energochłonności należy więc uwzględnić nie tylko okres zimy (ogrzewanie), ale także letni, w którym komfort termiczny użytkowników powinien być zapewniony. Istnieje wiele rozwiązań pozwalających obniżyć temperaturę w pomieszczeniach latem w inny sposób niż przez zastosowanie energochłonnych urządzeń chłodniczych [3, 6]. Przeprowadzenie symulacji komfortu termicznego w pomieszczeniach oraz dobór odpowiednich rozwiązań (zastosowanie osłon przeciwsłonecznych, optymalizacja bryły budynku, uwzględnienie przewietrzania nocnego) już na etapie projektowania mogłyby znacznie zwiększyć energooszczędność budynków w czasie ich eksploatacji.

W polskim prawie powinny być stawiane wyższe wymagania dotyczące ochrony pomieszczeń przed przegrzaniem. Proponuje się, aby wymagania dotyczyły całych pomieszczeń, a nie pojedynczych okien. Na wzór przepisów obowiązujących w innych krajach europejskich należałoby wprowadzić procedurę obliczeniową uwzględniającą funkcję pomieszczenia, kierunek ele-

wacji, ciężar konstrukcji, a także stosunek powierzchni okna do powierzchni użytkowej.

Literatura

- [1] Fanger Powl Ole. 1974. *Komfort cieplny*. Arkady.
- [2] Kisilewicz Tomasz. 2007. „Computer Simulation in Solar Architecture Design”. *Architectural Engineering and Design Management* Vol. 3 Iss. 2. DOI: 10.1080/17452007.2007.9684635.
- [3] Małek Maria, Halina Koczyk. 2016. „Rozwiązania stosowane w budownictwie energooszczędnym a komfort cieplny”. *Materiały Budowlane* 527 (7): 83 – 86. DOI: 10.15199/33.2016.07.27.
- [4] Norma PN-EN 15251:2012 Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę.
- [5] Norma PN-EN ISO 7730:2006 Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu termicznego.
- [6] Nowak Henryk, Łukasz Nowak, Elżbieta Śliwińska. 2015. „Wpływ systemów pasywnej kontroli zysków słonecznych na bilans energetyczny budynków oraz komfort cieplny i wizualny użytkowników”. *Materiały Budowlane* 518 (10): 66 – 69. DOI: 10.15199/33.2015.10.20.
- [7] Sudol-Szopińska Iwona, Anna Chojnacka. 2007. „Określanie warunków komfortu termicznego w pomieszczeniach za pomocą wskaźników PMV i PPD”. *Bezpieczeństwo Pracy* nr 5: 19 – 23.
- [8] Tąta Dawid, Henryk Foit. 2016. „Poszukiwanie najkorzystniejszej wielkości okien budynku pasywnego”. *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture* z. 63 nr 3: 497 – 506. DOI: 10.7862/rb.2016.233.
- [9] Wilk-Słomka Bożena, Janusz Belok. 2016. „Parametry oszklenia a komfort cieplny w strefie o regulowanej temperaturze”. *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture* z. 63 nr 3: 517 – 524. DOI 10.7862/rb.2016.235.

Przyjęto do druku: 22.07.2019 r.