



prof. dr hab. inż. Henryk Nowak<sup>1\*)</sup>  
dr inż. Łukasz Nowak<sup>1)</sup>  
dr Elżbieta Śliwińska<sup>1)</sup>

# Wpływ systemów pasywnej kontroli zysków słonecznych na bilans energetyczny budynków oraz komfort cieplny i wizualny użytkowników

*Influence of passive solar gain control systems in buildings on their energy balance and on occupants' thermal and visual comfort*

DOI: 10.15199/33.2015.10.20

(Oryginalny artykuł naukowy)

**Streszczenie.** Zyski słoneczne w skali roku w budynkach o dużym stopniu przeszklenia elewacji mogą być kształtowane przez odpowiednie konstrukcje zacięniące, a w tym przez nadwieszenia horyzontalne (pozwalają na kontrolę zysków cieplnych od promieniowania słonecznego w okresie letnim oraz redukcję strat ciepła w zimie). Dzięki temu można istotnie zmniejszyć roczne zapotrzebowanie na energię w budynkach. Poza oczywistym wpływem systemów zacięniących na bilans cieplny w skali roku, mają one wpływ na komfort cieplny i wizualny. Artykuł prezentuje wybrane wyniki kompleksowej analizy wpływu nadwieszeń zacięniających na roczny bilans cieplny budynków oraz na komfort cieplny i wizualny użytkowników.

**Słowa kluczowe:** pasywne systemy słoneczne, nadwieszenia zacięniące, komfort cieplny, komfort wizualny.

**Abstract.** The annual solar gains in buildings with a large percentage of glazing can be shaped by different kind of shading construction, including horizontal overhangs (make possible to control solar gains in summer and reduce heat loss in winter). Consequently, they can considerably reduce annual energy consumption in buildings. Except obvious influence of shading systems on the annual heat balance of the building, they have influence on parameters of thermal and visual comfort. The paper presents selected results of the complex analysis of the influence of horizontal overhangs on the annual thermal balance of buildings and on thermal and visual comfort of users.

**Keywords:** passive solar systems, shading overhangs, thermal comfort, visual comfort.

Wielkość i jakość przeszkleń ma istotny wpływ nie tylko na zapotrzebowanie budynku na energię do ogrzewania i chłodzenia, ale też na komfort cieplny przebywających w nim osób, i to zarówno zimą, jak i latem. Wpływ okien na odczucia cieplne ludzi objawia się w aspekcie pozytywnym i negatywnym [1, 2, 4, 6]. W zimie przewodzenie ciepła, w stopniu zależnym od jakości okien, powoduje obniżenie temperatury wewnętrznej powierzchni szyb poniżej temperatury powietrza w pomieszczeniu. Skutkiem tego może być lokalne promieniowe ochładzanie ciała (asymetria promieniowania), znacząco wpływające na odczucia komfortu. W zimie dodatkową przyczyną lokalnego dyskomfortu spowodowanego przez okna są przeciągi, na jakie narażone są osoby siedzące w pobliżu okien. I to niekoniecznie z powodu nieszczelności okien, lecz typowych konwekcyjnych ruchów powietrza, wywołanych zwykle niższą od reszty przegród temperaturą szyb. W związku z tym ist-

nieje potrzeba kontroli zysków słonecznych budynku.

Jedną z możliwości kształtowania bilansu zysków słonecznych budynku w ciągu roku jest zastosowanie różnego rodzaju konstrukcji zacięniących. Mogą to być nadwieszenia poziome, pionowe skrzydła zacięniące czy też żaluzje stałe lub regulowane. Konstrukcje zacięniące mają bardzo duży wpływ na ilość energii promieniowania słonecznego docierającego do pomieszczeń oraz na roczny bilans cieplny budynku. Na elewacjach południowych skuteczne są poziome nadwieszenia zacięniące (ang. shading overhangs). Konstrukcje te, o różnym wysięgu i odległości od górnej krawędzi okna, pozwalają na pasywną kontrolę nad zyskami słonecznymi. W lecie, kiedy słońce pozostaje wysoko nad linią horyzontu, odpowiednio dobrane nadwieszenie horyzontalne blokuje znaczną część energii promieniowania słonecznego, działając jak system pasywnego chłodzenia i zabezpieczając pomieszczenia przed przegrzewaniem. To samo nadwieszenie w zimie, przy niskiej wysokości kątownej słońca, nie powinno zbytnio ograniczać zysków ciepła od promieniowania słonecznego przenikającego przez okna

i wspomagania cieplnego bilansu budynku. Nadwieszenia zacięniące mogą mieć geometrię stałą lub zmienną, sterowaną odpowiednio w zależności od preferencji użytkownika lub warunków klimatycznych na zewnątrz (tzw. fasady inteligentne). Elementy nadwieszeń zacięniących mogą również aktywnie pozyskiwać energię, gdy zastosujemy np. moduły fotowoltaiczne, tworząc rozwiązania BIPV (ang. Building Integrated PhotoVoltaics – fotowoltaika zintegrowana z obudową budynku).

Zewnętrzne konstrukcje zacięniące, oprócz oczywistego wpływu na bilans zysków słonecznych budynku, biorą także udział w kształtowaniu natężenia oświetlenia światłem dziennym we wnętrzach budynku. W pracy [3] zaprezentowano wyniki kompleksowych pomiarów oraz badań symulacyjnych wpływu różnych konstrukcji zacięniących w przypadku warunków geograficznych Danii. Stwierdzono, że najbardziej wskazane, z punktu widzenia oświetlenia wnętrz budynków biurowych światłem dziennym są te konstrukcje zacięniące, które zatrzymują promieniowanie bezpośrednio z dala od budynku, podczas gdy promieniowanie rozproszone i odbite od powierzchni gruntu jest kierowane

<sup>1)</sup> Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji:

e-mail: henryk.nowak@pwr.edu.pl

do wnętrza. W artykule przedstawimy wybrany materiał dotyczący nadwieszonych zacieniaczy ze zrealizowanego projektu badawczego pt. „Metody oceny budynków użyteczności publicznej z pasywnymi systemami wykorzystania energii słonecznej pod kątem oszczędności energii oraz komfortu cieplnego i wizualnego ludzi” [8].

## Opis badań

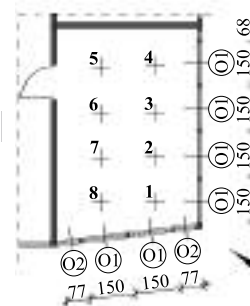
Badania nad wpływem nadwieszonych zacieniaczy prowadzono za pomocą symulacji numerycznych oraz pomiarów doświadczalnych. Symulacje przeprowadzono w programie DesignBuilder w celu określenia wpływu wymiarów horyzontalnych nadwieszonych zacieniaczy na bilans cieplny budynku, rozumiany jako bilans zapotrzebowania na energię grzewczą i klimatyzacyjną w skali roku. Zbadano trzy bryły budynku (fotografia a) z różnymi stopniami przeszkleń elewacji (30, 40 i 50%). Wymiary budynków (tabela) dobrano tak, aby uzyskać tę samą kubaturę oraz powierzchnię fasady południowej, na której zamontowano nadwieszona konstrukcja zacieniacza, wydajnie zmniejszająca penetrację słońca w okresie letnim. Pomieszczenie na 9. piętrze pełniło funkcję referencyjną. Na stanowisku pomiarowym w pomieszczeniu z nadwieszeniem zacieniaczem przygotowano rejestrator mikroklimatu i komfortu cieplnego Innova 1221 z modulem komfortu cieplnego (sonda temperatury operatywnej, wilgotności i prędkości ruchu powietrza). Czujniki umieszczono w odległości ok. 1 m od okna skierowanego na południe, na wysokości ok. 70 cm, co odpowiada poziomowi tułowia osoby siedzącej. Na stanowisku pomiarowym w pomieszczeniu referencyjnym przygotowano rejestrator firmy Ahlborn, którego czujniki (sonda temperatury i wilgotności powietrza oraz czujnik temperatury termometru kulistego) umieszczono w pozycji analogicznej jak w pomieszczeniu na 6. piętrze. Przyrządy umożliwiały prowadzenie pomiarów zgodnie z ISO 7730 7 [11]. W obu pomieszczeniach przeprowadzono również badania dostępności światła dziennego. Pomiar wykonano za pomocą lukso mierza Sonopan L-100 z głowicą fotometryczną G.L-100 umieszczoną na statywie, wykonując pomiary co godzinę w tych samych punktach w obu pomieszczeniach (rysunek 1).

## Charakterystyka poszczególnych budynków wykorzystanych w symulacjach

Characteristic of buildings used in simulations

Charakterystyka	Oznaczenie budynku								
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Wymiary podstawy [m]	90/20			45/20			22,5/20		
Liczba pięter	5			10			20		
Kubatura ogrzewania – $V_e$ [m <sup>3</sup> ]	31500								
Powierzchnia przegród zewnętrznych – $A_e$ [m <sup>2</sup> ]	7450			6350			6850		
Współczynnik kształtu $A_e/V_e$	0,237			0,202			0,217		
Wysokość budynku [m]	17,5			35			70		
Stopień przeszkleń [%]	30	40	50	30	40	50	30	40	50

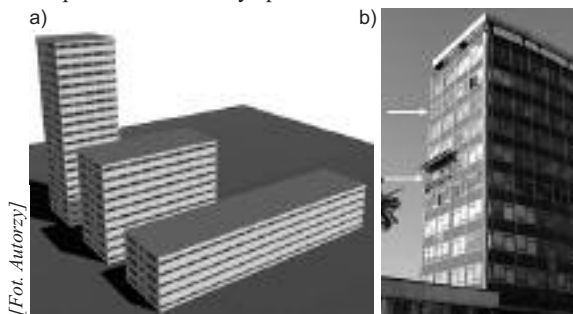
chodnia. Część przezierną fasady budynku stanowiły okna aluminiowe z podwójnymi szybami o grubości 5 mm i z przestrzenią międzyszybową o szerokości 12 mm wypełnioną powietrzem. W pomieszczeniu na 6. piętrze od strony południowej została zamocowana nadwieszona konstrukcja zacieniacza, wydajnie zmniejszająca penetrację słońca w okresie letnim. Pomieszczenie na 9. piętrze pełniło funkcję referencyjną. Na stanowisku pomiarowym w pomieszczeniu z nadwieszeniem zacieniaczem przygotowano rejestrator mikroklimatu i komfortu cieplnego Innova 1221 z modulem komfortu cieplnego (sonda temperatury operatywnej, wilgotności i prędkości ruchu powietrza). Czujniki umieszczono w odległości ok. 1 m od okna skierowanego na południe, na wysokości ok. 70 cm, co odpowiada poziomowi tułowia osoby siedzącej. Na stanowisku pomiarowym w pomieszczeniu referencyjnym przygotowano rejestrator firmy Ahlborn, którego czujniki (sonda temperatury i wilgotności powietrza oraz czujnik temperatury termometru kulistego) umieszczono w pozycji analogicznej jak w pomieszczeniu na 6. piętrze. Przyrządy umożliwiały prowadzenie pomiarów zgodnie z ISO 7730 7 [11]. W obu pomieszczeniach przeprowadzono również badania dostępności światła dziennego. Pomiar wykonano za pomocą lukso mierza Sonopan L-100 z głowicą fotometryczną G.L-100 umieszczoną na statywie, wykonując pomiary co godzinę w tych samych punktach w obu pomieszczeniach (rysunek 1).



Rys. 1. Kształt pomieszczeń, ich orientacja względem stron świata oraz punkty pomiaru natężenia światła dziennego  
Fig. 1. Shape of rooms, their orientation towards the directions of the world and daylight measuring points

## Wybrane wyniki symulacji i pomiarów

Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania w analizowanych budynkach w zależności od wymiarów systemu zacieniaczego składającego się z nadwieszonych horyzontalnych jest funkcją o jednostajnym tempie wzrostu w miarę zwiększania wysięgu nadwieszona oraz zmniejszania jego odległości od górnej krawędzi okna. Największy przyrost zapotrzebowania energii grzewczej we wszystkich analizowanych budynkach odnotowano w przypadku wysięgu nadwieszona 1,50 m i odległości od okna 0,00 m – w zależności od typu budynku wynosi on 5,2 ÷ 7,1%. Charakter funkcji zapotrzebowania energii na potrzeby chłodzenia analizowanego budynku w zależności od wysięgu nadwieszona i jego odległości od górnej krawędzi okna jest wykładniczy. W przypadku małych wysięgów nadwieszona następuje zdecydowane zmniejszenie zapotrzebowania energii na potrzeby chłodzenia, a w przypadku dłuższych wysięgów gwałtowna redukcja zapotrzebowania energii zostaje zahamowana. Największy spadek (10,9% ÷ 18,3%) zużycia energii we wszystkich analizowanych budynkach odnotowano, gdy wysięg nadwieszona wyniósł 1,50 m, a odległość od okna 0,00 m. Pomiar wykazały, że wśród wszystkich czynników wpływających na odczucia komfortu cieplnego ludzi, wyraźne różnice między pomieszczeniami były widoczne w przebiegach tylko dwóch z nich: temperatury powietrza i temperatury radiacyjnej. Na rysunku 2a przedstawiono przykładowy przebieg temperatury operatywnej (TO), gdyż w pomieszczeniach silnie przeszklonych ma ona największy wpływ na odczucia cieplne przez człowieka. Ponadto, przy planowaniu klimatyzacji w tego typu pomieszczeniach, temperatura operatywna może też być bazą do obliczeń zapotrzebowania na chłodzenie. Z uzyskanych wyników widoczne jest oczywiste przegrzanie pomieszczeń w lecie. W upal-

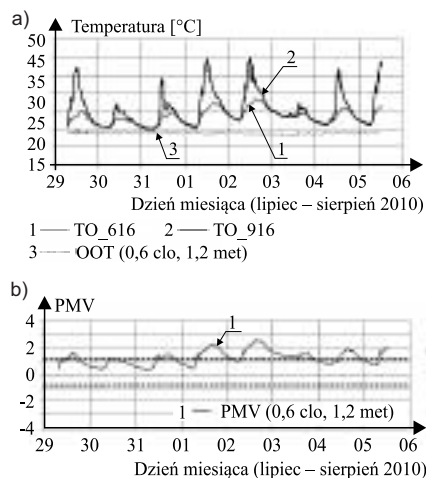


Simulations and measurements: a) view of buildings used in simulations: building A (5-floors), building B (10-floors), building C (20-floors); b) location of rooms used in thermal and visual comfort measurements: upper arrow – reference room, lower arrow – room with shading overhang

Simulations and measurements: a) view of buildings used in simulations: building A (5-floors), building B (10-floors), building C (20-floors); b) location of rooms used in thermal and visual comfort measurements: upper arrow – reference room, lower arrow – room with shading overhang

ne słoneczne dni nie da się w pomieszczeniach mocno przeszklonych uzyskać warunków komfortu cieplnego bez klimatyzacji. Temperatura operatywna (TO) w godzinach okołopołudniowych przekraczała wartości optymalne (TOO) średnio o kilkanaście stopni. Również w nocy była często wyższa od optymalnej.

Analiza wyników pod kątem klasycznego modelu komfortu cieplnego Fanger'a (rysunek 2b) pokazała, że zacinienie w postaci markizy było w stanie wydatnie zmniejszyć ten stopień dyskomfortu i zapotrzebowanie na energię do chłodzenia, jednak nie do poziomu zerowego. W dni upalne wartość wskaźnika PMV (ang. Predicted Mean Vote – przewidywanej średniej oceny) wyraźnie wychodziła poza strefę komfortu. Na warunki zbliżone do komfortowych można było liczyć jedynie w dni o temperaturze powietrza na zewnątrz niższej od 24°C (rysunek 3b, okres 29.07 ÷ 1.08). Jednak nawet wtedy ocena komfortu PMV w pomieszczeniu zacięzionym, choć mieściła się w strefie komfortu, w ciągu dnia wykazywała duże wahania. Częsta amplituda – to 3 punkty na skali ASHRAE.

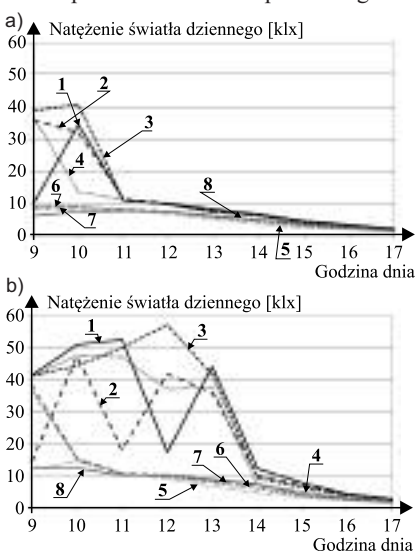


**Rys. 2.** Pomiary parametrów komfortu cieplnego: a) wahania temperatury wewnętrznej w przykładowej sesji pomiarowej w okresie letnim: TO\_616 – temperatura operatywna w pomieszczeniu z nadwieszeniem zacięzionym, TO\_916 – temperatura operatywna w pomieszczeniu referencyjnym, OOT – optymalna temperatura operatywna, b) wartość wskaźnika PMV w pomieszczeniu z nadwieszeniem zacięzionym

*Fig. 2. Measurements of thermal comfort parameters: a) indoor temperature variations during a sample measurement session in the summer: TO\_616 – operative temperature in a shaded room, TO\_916 – operative temperature in a reference (non-shaded) room, OOT – Optimal Operative Temperature, b) Predicted Mean Vote (PMV) variations in a shaded room*

Analizując ilość dostępnego światła dziennego w słoneczny dzień w pomieszczeniu, można zauważyć, że wraz z ruchem słońca po nieboskłonnie zmieniają się wartości natężenia światła (rysunki 3 a i b). Im jest on wyższy na nieboskłonnie, tym więcej światła dostaje się do wnętrza pomieszczenia. Pewne fluktuacje natężenia światła widoczne na wykresach wynikają z pojawiania się niewielkich chmur na nieboskłonnie, które wskutek przysłonięcia tarczy słonecznej powodowały duże skoki w uzyskanych wartościach.

Największą wartość natężenia światła zanotowano w przypadku pomiaru referencyjnego i było to 57 klx, dla punktu 3 (rysunek 3b). W pomieszczeniu bez nadwieszenia zacięzionego pojawia się zjawisko tzw. pasa przyokiennego, w którym obserwuje się dużo większe wartości natężenia światła niż w położonych dalej od okna częściach pomieszczenia (w pomiarach uzyskano średnio 2,5 razy większe wartości natężenia światła w pasie przyokiennym niż w pozostałej części pomieszczenia). W związku z tym stanowiska pracy ulokowane w pasie przyokiennym od strony południowej mogą być narażone na zbyt duże natężenie światła, które może skutkować dyskomfortem wizualnym. Istotną poprawą takiej sytuacji może być zastosowanie nadwieszenia zacięzionego, które przez ograniczenie nadmiaru promieniowania bezpośredniego ni-



**Rys. 3.** Pomiary natężenia światła dziennego padającego na płaszczyznę pionową w przypadku dnia o bezchmurnym niebie: a) w pomieszczeniu z nadwieszeniem zacięzionym; b) w pomieszczeniu referencyjnym; 1 ÷ 8 – punkty pomiaru natężenia światła dziennego wg rysunku 1

*Fig. 3. Measurements of daylight intensity on the vertical plane during a cloudless day: a) in a shaded room; b) in a reference (non shaded) room; 1 ÷ 8 measuring points according to Figure 1*

weluje efekt pasa przyokiennego (rysunek 3a). Zastosowanie nadwieszenia zacięzionego nie tylko wyraźnie redukuje wartości natężenia światła dziennego w pomieszczeniu w stosunku do pomieszczenia referencyjnego, ale również poprawia jego równomierność, co pokazują bardziej zbliżone linie natężeń światła na rysunku 3a – od godz. 11 praktycznie już w całym pomieszczeniu natężenie jest podobne. Ma to istotny wpływ na odczucia komfortu wizualnego u użytkowników pomieszczenia.

## Podsumowanie

Zaprezentowane wybrane wyniki, będące częścią wykonanej pracy prezentowanej również m.in. w [9, 10], zwracają uwagę na wielopoziomowość analizowanego zagadnienia i mimo wielu uzyskanych wniosków, nie wyczerpują tematu badawczego. Stosując bardzo proste rozwiązanie architektoniczne, jakim jest horyzontalne nadwieszenie zacięzionego, przy stosunkowo niewielkiej redukcji korzystnych zysków promieniowania słonecznego w okresie zimowym, można uzyskać znaczne ograniczenie niekorzystnych zysków słonecznych letnich prowadzących do przegrzania pomieszczeń. Warto jednak wiedzieć, że w okresie lata pomimo praktycznie całkowitego ograniczenia zysków od promieniowania bezpośredniego i rozproszonego tarczy słonecznej jesteśmy w stanie zredukować „tylko” ponad połowę całkowitego promieniowania słonecznego. Wpływ na to mają wysokie wartości izotropowego rozproszonego promieniowania nieboskłonu oraz promieniowanie słoneczne odbite od powierzchni gruntu. Skutkiem tego, chociaż w czasie słonecznych dni zacięzionie okna jest efektywną metodą poprawiającą mikroklimat wnętrza, komfort cieplny można utrzymać (przez otwieranie okien i przewietrzanie) tylko wtedy, gdy temperatura powietrza na zewnątrz nie przekracza 24°C. Podobne wyniki badań otrzymali też autorzy publikacji [5, 7]. Nadwieszenie zacięzionego wskutek redukcji dostępnej ilości światła dziennego, głównie w części pomieszczenia leżącej blisko okna, zmniejszając (w stosunku do pomieszczenia referencyjnego bez zacięzionia) zjawisko *pasa przyokiennego*. Redukcja ta przyczynia się do bardziej równomiernego oświetlenia światłem dziennym, co wyraźnie poprawia warunki komfortu wizualnego u użytkowników pomieszczenia.

Zaprezentowane badania naukowe wykonano w ramach projektu *Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości*