

PORÓWNANIE PROCEDUR STEROWANIA ELEMENTAMI ZACIENIAJĄCYMI W SYMULACYJNYCH PROGRAMACH OBLICZENIOWYCH

Artur BOROWCZYŃSKI, Dariusz HEIM

*Politechnika Łódzka, Katedra Inżynierii Środowiska
ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź,
e-mail: artur.borowczynski@p.lodz.pl, dariusz.heim@p.lodz.pl*

Streszczenie: W artykule opisano związek pomiędzy systemami zacielenia a automatyką budynkową. W pracy przedstawiony został wpływ algorytmów sterowania urządzeniami zacieleniającymi na zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania w okresie zimowym oraz chłodzenia w okresie letnim.

Słowa kluczowe: energia, sterowanie, zarządzanie budynkiem, urządzenia zacieleniające, promieniowanie słoneczne.

1. WPROWADZENIE

Systemy zacielenia są powszechnie stosowane w technologiach elewacyjnych do kontrolowania ilości bezpośredniego promieniowania słonecznego [7]. Ich właściwe wykorzystanie pozwala również na zwiększenie jakości oświetlenia dziennego i komfortu wizualnego wewnątrz pomieszczenia. Obecnie pojawia się możliwość wykorzystania systemów zarządzania budynkiem BMS (ang. Building Management Systems) do poprawy ich funkcjonowania w zmiennych warunkach środowiska zewnętrznego. Systemy te pozwalają na sterowanie pracą aktywnych urządzeń i elementów budynku, między innymi urządzeń zacieleniających [2]. Istnieje wiele algorytmów sterujących, dopuszczających swobodną regulację w zależności od parametrów użytkownika, przez co można uzyskać optymalną pracę urządzenia zacieleniającego. Jednak ważnym aspektem, zwłaszcza dla zarządców budynków, jest niższe zapotrzebowanie obiektów na energię, zwłaszcza chłód. Prowadzone badania wykazały [3,6], że urządzenia zacieleniające mogą być z powodzeniem stosowane w celu obniżenia kosztów eksploatacji w wyniku ograniczenia przegrzewania się obiektów.

Celem artykułu jest analiza wybranych algorytmów sterowania urządzeniem zacieleniającym pod kątem efektywności energetycznej. Praca ma na celu pokazanie wyraźnego związku pomiędzy zużyciem energii a algorytmem sterowania instalacji zacieleniającej. W celu pokazania powyższej zależności przeprowadzono symulacje z wykorzystaniem programu DesignBuilder na podstawie rzeczywistego pomieszczenia biurowego wyposażonego w regulowane urządzenie zacieleniające typu żaluzjowego.

2. ALGORYTMY STEROWANIA URZĄDZENIAMI ZACIENIAJĄCYMI

Programy do obliczeń numerycznych pozwalają na symulowanie pracy urządzeń zacieleniających poprzez zadany system sterowania. Określa on, w którym momencie (w jakich okresach czasowych) przesłonięcie powinno zostać zacielenione bądź nie. Przy czym poprzez zacielenie rozumie się pełne przesłonięcie powierzchni transparentnej z wyłączeniem elementów pełnych. Istnieje kilkanaście metod automatycznego sterowania urządzeniami zacieleniającymi, różniących się rodzajem pracy i kryteriami ich regulacji [1].

Podstawowy algorytm sterowania zakłada regulację pracy urządzenia zacieleniającego zgodnie z zadanym schematem pracy. W algorytmie określa się okresy czasu pracy urządzenia niezależnie od zmiennych warunków zewnętrznych. Ze względu na prosty schemat pracy i niską efektywność jest to coraz rzadziej stosowana metoda sterowania (obecnie jedynie w budynkach przemysłowych).

Kolejny algorytm opisuje sterowanie z uwzględnieniem położenia Słońca na nieboskłonie. System zacienienia regulowany jest w zależności od odbieranego przez sensor natężenia promieniowania słonecznego. Algorytm jest precyzyjny, jednak jest podatny na chwilowe zacienienie tarczy słonecznej i podobne chwilowe zjawiska pogodowe. Inny typ sterowania pozwala na ograniczenie olśnienia poprzez regulację działania żaluzji na podstawie wyznaczonego wskaźnika światła dziennego. Algorytm stosowany jest w głównej mierze w celu zwiększenia komfortu wizualnego użytkowników.

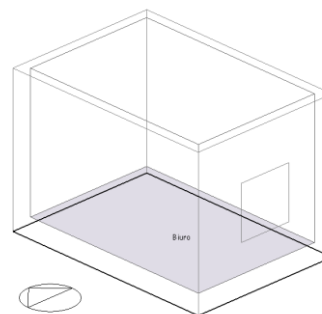
Jeżeli pomieszczenie wyposażone jest w czujniki wewnętrzne, mogą one zostać wykorzystane do regulacji pracy urządzeń zacinających. Najpopularniejsze metody wykorzystują sensory temperatury powietrza wewnętrznego, zewnętrznego, w przypadku chłodzenia również profil dotyczący częstotliwości pracy. Algorytmy wykorzystujące czujniki powinny mieć jednak dobrze określone parametry odpowiadające za sterowanie, inaczej praca urządzenia zacinającego nie będzie wydajna [4].

Osobny typ algorytmów określa sterowanie ograniczające straty ciepła w sezonie zimowym. Algorytmy zakładają pracę urządzeń zacinających nocą, aby ograniczyć straty na drodze wypromieniowania ciepła przez powierzchnie przeszklone. Jednak aby sterowanie przyniosło oczekiwane efekty, urządzenie zacinające powinno posiadać dobre parametry izolacyjności termicznej.

Ostatnią grupę stanowią algorytmy hybrydowe, będące połączeniem powyższych algorytmów sterowania (dwóch lub więcej). Im więcej parametrów uwzględnia algorytm, tym jest dokładniejszy, jednak niektóre algorytmy mogą ze sobą kolidować bądź nawet wzajemnie wykluczać się.

3. MODEL OBLICZENIOWY

Jako obiekt referencyjny do budowy modelu obliczeniowego wykorzystano pojedyncze pomieszczenie biurowe, które jest przeznaczone do pracy z komputerem w pozycji siedzącej dwóch osób w średnim wieku. Pomieszczenie wykorzystane w symulacjach jest odwzorowaniem rzeczywistego pokoju biurowego, mieszczącego się w jednym z budynków Politechniki Łódzkiej. Konstrukcja pomieszczenia jest dobrze izolowana, z istotnym ograniczeniem udziału mostków termicznych w stratach przez przenikanie.



Rys. 1. Geometria modelu.

Fig. 1. Model geometry.

Pomieszczenie ma kształt prostopadłościenny o wymiarach 3,0 na 6,0 m i wysokości 3,0 m. Biuro ma pojedyncze okno oszklone potrójnie, o wymiarach 1,2 m na 1,2 m zorientowane na południe (Rys. 1). Okno jest wyposażone w urządzenie zacinające w postaci lameli umieszczonych na zewnątrz okna. Lamelle są konstrukcji masywnej i izolowanej (stanowią barierę ograniczającą w znacznym stopniu przenikanie energii cieplnej), z klejonego szkła o standardowym współczynniku odbicia (0,5). Zmiana ich położenia regulowana jest za pomocą programowalnego siłownika. Dodatkowo pomieszczenie jest wyposażone w czujniki temperatury wewnętrznej i zewnętrznej oraz czujnik natężenia promieniowania słonecznego zamontowany na ramie okiennej. Dla potrzeb artykułu założono, że lamelle mogą w całości zasłaniać powierzchnię okna, bądź pozostawić ją niezacienioną.

Dane klimatyczne zostały przyjęte zgodnie z plikiem Typowego Roku Meteorologicznego dla miasta Łodzi [5]. Przeanalizowano pracę systemu zacinającego na przestrzeni całego roku kalendarzowego (dla potrzeb pracy wykonano również analizę z godzinowym krokiem czasowym dla dnia 21 września), aby we właściwy sposób zobrazować działanie wybranych algorytmów sterowania. Dla uproszczenia przyjęto, że sezon letni trwa od maja do września, sezon zimowy stanowią pozostałe miesiące w roku. Pomieszczenie użytkowane jest w dni robocze w godzinach od 8:00 do 16:00.

Tak zdefiniowany model został zbudowany w programie DesignBuilder, który pozwala na analizę symulacyjną zjawisk fizyko-budowlanych zachodzących w budynkach. Program realizuje sterowanie urządzeniami zacinającymi poprzez szereg funkcji (zostały one opisane w rozdziale 2 i przedstawione w Tabeli 1), zaś na potrzeby artykułu wykorzystano jedynie pewne wybrane schematy sterowania.

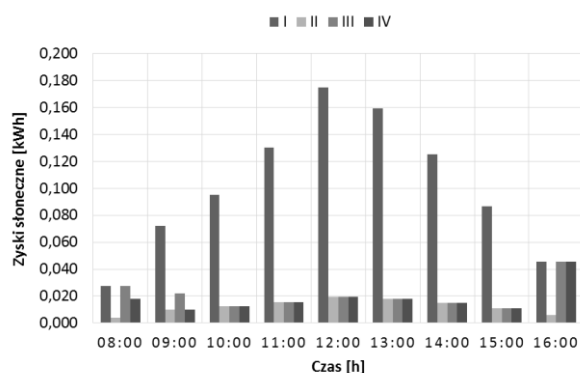
Tabela 1. Analizowane algorytmy sterowania.
Table 1. The analyzed control algorithms.

Nr	Opis	Typ analizy
I	Brak zacielenia okna.	Ogólny
II	Okno jest zacielenie w sposób ciągły w zadanym przedziale czasowym (w czasie pracy biurowej, od godziny 8 do 16).	Ogólny
III	Okno jest zacielenie w zależności od padającego promieniowania słonecznego (jeżeli promieniowanie przekroczy wartość 120 W/m^2).	Zyski słoneczne
IV	Okno jest zacielenie w zależności od temperatury wewnątrz pomieszczenia (jeżeli temperatura przekroczy wartość 20°C).	Zyski słoneczne
V	Okno jest zacielenie w sposób ciągły w czasie nocy.	Ogrzewanie
VI	Okno jest zacielenie w czasie nocy w zależności od temperatury zewnętrznej (jeżeli temperatura spadnie poniżej wartości 0°C).	Ogrzewanie
VII	Okno jest zacielenie w zależności od temperatury wewnątrz pomieszczenia (jeżeli temperatura przekroczy wartość 24°C).	Chłodzenie
VIII	Okno jest zacielenie w zależności od temperatury wewnątrz pomieszczenia (jeżeli temperatura przekroczy wartość 24°C) oraz od padającego promieniowania słonecznego (jeżeli promieniowanie przekroczy wartość 120 W/m^2).	Chłodzenie

4. ANALIZA WYNIKÓW

4.1. Zyski ciepła

Pierwsza z przeprowadzonych analiz dotyczyła określenia zysków ciepła od promieniowania słonecznego przenikającego do pomieszczenia przez przeszklenie zewnętrzne. Symulacja została wykonana dla jednego dnia z godzinnym krokiem czasowym w porze pracy biurowej (od 8 do 16). Jako dzień prowadzenia analizy przyjęto 21 września (dzień równonocy).



Rys. 2. Zyski ciepła wywołane promieniowaniem słonecznym.
Fig. 2. Heat gains due to solar radiation.

Analiza wykazała (Rys. 2), iż podczas słonecznego dnia przez niezacielenie okna przenika do pomieszczenia znaczna ilość energii, zwłaszcza w godzinach południowych (o mocy zysków do 200 W). Wprowadzenie zacielenia ciągłego pozwala na ograniczenie tych zysków do minimum, otrzymane wartości ciepła są nawet dziesięciokrotnie mniejsze. Jeżeli praca urządzenia zacielenia jest regulowana poprzez ilość promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię okna można zaobserwować, że charakter pracy jest dość zbliżony do zacielenia ciągłego. Różnice odnotowano na początku i na końcu opisywanego okresu, kiedy to okno nie jest zacielenie. Sytuacja ta jest korzystna, ponieważ w tych okresach do pomieszczenia dociera światło dzienne, jednak pomieszczenie nie nagrzewa się zbyt mocno. Zbliżony charakter pracy zaobserwowano dla systemu zacielenia sterowanego na podstawie temperatury wewnętrznej w pomieszczeniu. Gdyby analizowano inny dzień różnice pomiędzy algorytmami byłyby bardziej widoczne. Wyniki analizy wskazują, że jeżeli dążymy do ograniczenia promieniowania przenikającego przez przestrzeń przeszklone to konieczne jest wykorzystanie algorytmu sterowania umożliwiającego możliwie ciągłe zacielenie.

4.2. Energia użytkowa do ogrzewania

Kolejna analiza zakładała określenie całkowitej energii użytkowej do ogrzewania jakiej potrzebuje opisywane pomieszczenie w sezonie ogrzewczym dla zapewnienia warunków komfortu wewnętrznego użytkowników (Tabela 2). Analiza miała na celu pokazanie, iż jest zasadne wykorzystanie urządzeń zacieleniających również w miesiącach zimowych.

Tabela 2. Zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania w zależności od algorytmu sterowania.

Table 2. Useful heating energy demand in dependence on control algorithm.

Miesiąc	Zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania [kWh/rok]			
	I	II	V	VI
Styczeń	289,8	298,6	291,4	292,9
Luty	263,8	269,4	263,1	261,4
Marzec	185,4	187,9	181,0	178,1
Kwiecień	98,9	98,5	93,1	91,3
Październik	128,6	132,3	125,2	124,4
Listopad	193,5	191,1	190,4	189,0
Grudzień	263,9	264,2	261,2	259,6
Suma	1423,8	1442,0	1405,3	1396,5

Wyniki analizy wskazują, że algorytm ciągłej pracy systemu zacinającego ma niekorzystny wpływ na zapotrzebowanie na energię pomieszczenia w sezonie ogrzewczym. Sama rezygnacja z systemu zacinania pozwala na uzyskanie oszczędności energii na poziomie 18,2 kWh w skali roku. Algorytm sterowania w miesiącach zimowych powinien zakładać wykorzystanie masywnego urządzenia zacinającego jedynie w okresie nocnym, co pozwala na dodatkowe ograniczenie strat ciepła przez przenikanie. Jeżeli algorytm zostanie rozszerzony o regulację pracy w okresie dnia na podstawie temperatury zewnętrznej, możliwe jest osiągnięcie najmniejszego zapotrzebowania na energię (różnica pomiędzy skrajnymi przypadkami to 45,5 kWh). Przeprowadzona analiza wykazała, że właściwa praca systemów zacinania ma znaczenie dla zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło w sezonie zimowym.

4.3. Energia użytkowa do chłodzenia

Ostatnia z przeprowadzonych analiz dotyczyła określenia całkowitej energii użytkowej potrzebnej do chłodzenia modelowego pomieszczenia w sezonie letnim (Tabela 3). Analiza miała wskazać, że ograniczenie zysków ciepła powodowanych promieniowaniem słonecznym stanowi (obok zapewnienia odpowiedniego komfortu wizualnego) podstawową funkcję urządzeń zacinających.

Tabela 3. Zapotrzebowanie na energię użytkową do chłodzenia w zależności od algorytmu sterowania.

Table 3. Useful cooling energy demand in dependence on control algorithm.

Miesiąc	Zapotrzebowanie na energię użytkową do chłodzenia [kWh/rok]			
	I	II	VII	VIII
Maj	38,6	36,8	33,4	32,8
Czerwiec	89,0	85,7	79,9	75,2
Lipiec	81,8	78,0	73,7	70,1
Sierpień	103,1	99,7	95,7	93,3
Wrzesień	20,6	20,1	16,1	16,3
Suma	333,1	320,2	298,8	287,7

Wyniki pokazują, że brak urządzenia zacinającego generuje największe zapotrzebowanie na energię do chłodzenia (brak bariery dla promieniowania słonecznego). Ciągły algorytm sterowania pozwala na ograniczenie przegrzewania się wnętrza pomieszczenia i pozwala na oszczędność około 4% energii w sezonie letnim. Jeżeli zostanie wykorzystany bardziej złożony algorytm sterowania regulujący pracę na podstawie temperatury wewnętrznej, zapotrzebowanie na energię do chłodzenia będzie jeszcze mniejsze. Jeżeli natomiast ten sam algorytm zostanie rozszerzony o dodatkową funkcję pracy w zależności od ilości docierającego promieniowania słonecznego, energia do chłodzenia pomieszczenia będzie mniejsza aż o 45,4 kWh w skali roku. Przeprowadzona analiza wykazała, że precyzyjne sterowanie zacinaniem (w sposób możliwie ciągły, zgodnie z warunkami zewnętrznymi) w sezonie letnim pozwala na znaczące ograniczenie zapotrzebowania na energię.

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza wykazała, że wybór odpowiedniej strategii sterowania urządzeniem zacinającym ma znaczny wpływ na ilość energii docierającej do pomieszczenia, a więc na jego bilans energetyczny. Ponadto algorytm sterowania powinien być ustalony w zależności od pożądanego efektu (w analizowanym przypadku jest to ograniczenie zapotrzebowania na energię). Istotnym elementem jest także charakterystyka algorytmu sterowania, algorytmy wykorzystujące większą ilość parametrów do regulacji pracy pozwalają na osiągnięcie lepszych rezultatów. Natomiast wykorzystanie niewłaściwej strategii sterowania może mieć efekt przeciwny do zamierzonego (zwiększenie zapotrzebowania

na energię). Decydując się na dany wariant sterowania należy również mieć na uwadze wiele czynników zewnętrznych, takich jak aktualna pora roku, okres dnia oraz orientacja i wielkość okna. Poprawnie działający algorytm sterowania powinien uwzględniać jak najwięcej parametrów aby mógł zostać uznany za efektywny.

Przeprowadzoną analizę można rozszerzyć poprzez uwzględnienie częściowego zacielenia powierzchni przeszklonej lub zmiennego kąta nachylenia lameli. Innym rozwiązaniem jest sprawdzenie algorytmów sterowania pod kątem zapewnienia komfortu wizualnego użytkowników pomieszczenia i dokonanie porównania z wynikami niniejszej analizy.

Funkcje sterowania urządzeniami zacieleniającymi są nieodzowną częścią układów automatyki budynkowej w nowoprojektowanych budynkach biurowych. Właściwa ich regulacja pod kątem optymalnych parametrów pracy może przełożyć się na oszczędność kosztów energii.

COMPARISON OF CONTROL ALGORITHMS FOR SHADING DEVICES IMPLEMENTED INTO ENERGY PERFORMANCE SIMULATION TOOL

Summary: The article describes the connection between shading systems and building automation. In paper was presented the impact of control algorithms for shading systems on the energy demand for heating in the winter and cooling in summer.

Literatura

- [1] DesignBuilder *User's Manual* (ver.2.1, X 2009).
- [2] Khalid Y. A. (2011) *Controllability of Building Systems*, PhD Thesis, Glasgow: University of Strathclyde.
- [3] Kim G., Soo Lim H., Lim T. S., Schaefer L., Kim J. T., *Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings*, Energy and Buildings, Volume 46, March 2012, Pages 105-111, ISSN 0378-7788.
- [4] MacQueen J (1997) *The modelling and simulation of energy management control systems*, PhD Thesis, Glasgow: University of Strathclyde.
- [5] Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju <http://www.mir.gov.pl/>.
- [6] Saelens D., Parys W., Roofthoof J., Tablada de la Torre A., *Assessment of approaches for modeling louver shading devices in building energy simulation programs*, Energy and Buildings, Volume 60, May 2013, Pages 286-297, ISSN 0378-7788.
- [7] Tzempelikos A., Athienitis A. K., *The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand*, Solar Energy, Volume 81, Issue 3, March 2007, Pages 369-382, ISSN 0038-092X.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu: „Promowanie zrównoważonego podejścia do efektywności energetycznej w budownictwie jako narzędzia ochrony klimatu w miastach Niemiec i Polski: opracowanie technologii fasady dla potrzeb budynków o zerowej emisji” (akronim: GPEE).