

Ilona RZEŹNIK

Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Piotrowo 3A, 61-138 Poznań
e-mail: ilona.rzeznik@put.poznan.pl

Wojciech RZEŹNIK

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Poznaniu
ul. Biskupińska 67, 60-463 Poznań
e-mail: w.rzeznik@itep.edu.pl

WINDOWS' ENERGETIC EFFICIENCY AS A FUNCTION OF THEIR SPATIAL ORIENTATION

Summary

In this paper the original optimization method of windows orientation is present. Minimization of yearly heat energy consumption in the building was the optimization criterion. Using this method and appropriate data base the exemplary optimization calculations for dwelling house were made.

Key words: buildings, windows, heat energy consumption, optimization, method

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA OKIEN JAKO FUNKCJA ICH ORIENTACJI PRZESTRZENNEJ

Streszczenie

Przedstawiono oryginalną metodę optymalizacji orientacji przestrzennej budynków wyposażonych w okna. Kryterium optymalizacji była minimalizacja rocznego zużycia energii cieplnej dla rocznej eksploatacji budynku. Korzystając z metody i odpowiedniej bazy danych wykonano przykładowe obliczenia optymalizacyjne dla budynku mieszkalnego.

Słowa kluczowe: budynki, okna, zużycie energii cieplnej, optymalizacja, metoda

1. Wstęp

Efektywność energetyczna systemów i procesów jest podstawowym kryterium ich oceny, nie tylko w rolnictwie. W ostatnich latach pojawiło się drugie kryterium – ekologiczne, które w obliczu zagrożeń dla środowiska, jakie niesie wytwarzanie i konsumpcja energii nabrało szczególnego znaczenia. W tej tematyce prace podejmowane są w dwóch obszarach. Poszukuje się nowych odnawialnych źródeł energii i tu możliwości jest wiele, szczególnie w rolnictwie. Jest ono podstawowym producentem biomasy, która jest najważniejszym odnawialnym surowcem energetycznym. Energię można pozyskiwać także z budynków inwentarskich, co dodatkowo pozytywnie wpływa na dobrostan zwierząt [9]. Równym ważnym zagadnieniem jest efektywne gospodarowanie wytworzoną energią, niezależnie od źródła jej produkcji. Jednym z nich jest ograniczenie zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń. Rolnicze procesy produkcyjne, przetwórcze, oraz towarzyszące im procesy pomocnicze i obsługi realizowane są w pomieszczeniach, w których powinna być utrzymywana odpowiednia temperatura. Stworzenie takich warunków wymaga dostarczenia bądź odprowadzenia energii cieplnej.

W rolnictwie do takich obiektów należą przede wszystkim szklarnie, ale także przechowalnie, hale produkcyjne, pomieszczenia inwentarskie, zakłady serwisowe maszyn rolniczych itp. Wymagania w tym zakresie są szczególnie ważne w pomieszczeniach inwentarskich i związane są z zapewnieniem dobrostanu zwierząt. Dodatkowo do pomieszczeń tych musi być doprowadzone światło słoneczne.

Aby spełnić te wymagania określone powierzchnie ścian budynków muszą być przezroczyste. Rolę tę pełnią przede wszystkim okna. Około 30% wszystkich strat ciepła

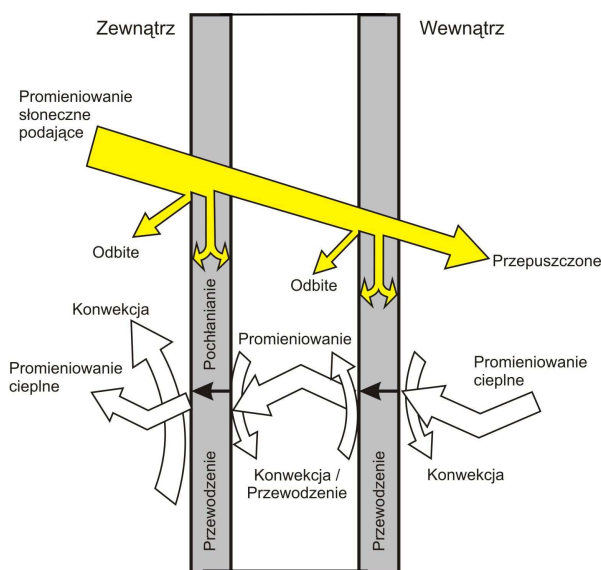
w budynkach generowanych jest przez okna [6], które charakteryzują się gorszymi niż ściany nieprzezroczyste parametrami izolacyjnymi. Współczesne okna to podwójne przegrody przezroczyste, w których przepływ ciepła jest złożony z wielu procesów. Ograniczenie strat ciepła generowanych przez okna sprowadza się do zminimalizowania przenikania i wymiany ciepła przez szyby i ramę okienną. Jak wynika z badań [1] aż 90% strat ciepła przypada na część przeszkloną okna, pozostałe 10% generuje rama.

W przegrodach przezroczystych, opis oddziaływania promieniowania słonecznego jest bardziej złożony niż w innych przegrodach. Ważne jest uwzględnienie odbicia, transmisji i absorpcji promieniowania przez układ szyb. Absorpcja energii promieniowania słonecznego, poprzez podwyższanie temperatury szyb, ma istotny wpływ na konwekcyjną i radiacyjną wymianę ciepła. Na zjawisko nagrzewania się tafli szyb i intensyfikacji wymiany ciepła przez okno zwrócono uwagę w pracach [3, 4, 5, 9]. Problemu absorpcji promieniowania cieplnego przez gazy w szczelinie okiennej dotyczy artykuł [7]. Zjawiska występujące w wymianie ciepła przez okno zespolone z dwoma szybami przedstawiono na rys. 1.

Należą do nich promieniowanie słoneczne i związane z nim zjawiska odbicia, transmisji i absorpcji promieniowania przez szyby. W wyniku absorpcji następuje wzrost temperatury szyb, co istotnie wpływa na konwekcyjną i radiacyjną wymianę ciepła.

Intensywność promieniowania słonecznego i związane z nim przepływu ciepła jest funkcją wielu czynników niezależnych, jak: szerokość geograficzna, pora dnia lub roku, warunki atmosferyczne. Jest też grupa czynników związanych z orientacją przestrzenną okna, określającą jego położenie względem stron świata oraz odległość i położenie

względem innych budynków, drzew itp. W tym ostatnim obszarze istnieją duże możliwości stosowania korzystnych rozwiązań, szczególnie na obszarach rolniczych, pod warunkiem, że wiadomo jak to zrobić.



Rys. 1. Przepływ ciepła przez podwójną przegrodę przezroczystą

Fig. 1. The heat flow through the two - pane transparent bar

2. Cel pracy

Z przedstawionych studiów literowych wynika, że orientacja przestrzenna budynku (okien) może istotnie wpłynąć na jego efektywność cieplną podczas eksploatacji. Przy czym gospodarka energią cieplną zależy od przeznaczenia budynku. Inaczej będzie ona prowadzona w szklarniach, inaczej w suszarniach warzyw. Z problemu tego zdawano sobie sprawę od dawna i rozwiązywano go korzystając z doświadczenia oraz uproszczonych metod obliczeniowych, które nie pozwalały na optymalizację. Potrzebna jest, więc uniwersalna metoda, która pozwoli wskazać optymalną orientację budynku względem stron świata odpowiednio do jego przeznaczenia uwzględniając różne kryteria. Opracowanie takiej metody stanowi problem naukowy pracy.

3. Metoda

Promieniowanie słoneczne w przypadku okien (podobnie jak w przypadku wszystkich pozostałych przezroczystych przegród budowlanych) ma bardzo duży wpływ na ich bilans cieplny. Z tego względu matematyczny opis promieniowania słonecznego docierającego do okien musi być odpowiednio szczegółowy i wiarygodny.

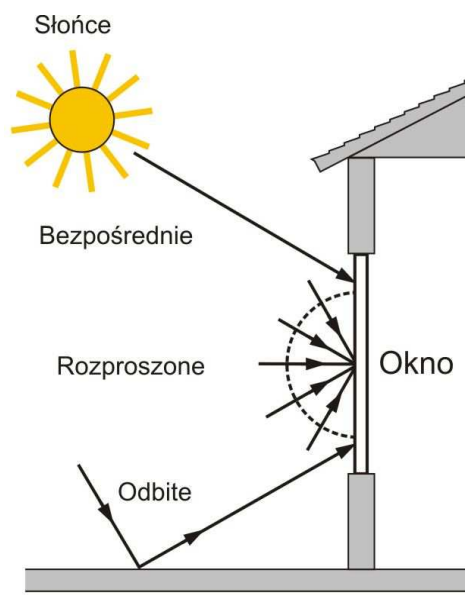
Całkowite promieniowanie słoneczne I_c docierające do dowolnie zorientowanej płaskiej powierzchni zlokalizowanej przy powierzchni Ziemi dzieli się na promieniowanie bezpośrednie I_b , promieniowanie rozproszone (dyfuzyjne) I_d , oraz promieniowanie odbite I_o (rys. 2, równanie 1).

$$I_c = I_b + I_d + I_o \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1)$$

Poszczególne zmienne opisano funkcjami uzyskanymi z badań empirycznych i ogólnodostępnych informacji mete-

orologicznych i zbudowano algorytm, który stanowi funkcję celu w postaci:

$$q_c = \int_{t=0}^{t=t(\text{rok})} |q(t)| dt \quad (2)$$



Rys. 2. Podział promieniowania słonecznego docierającego do okna

Fig. 2. The division of solar radiation reaching the window

Funkcję celu q_c wyraża się w $[J \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}]$ lub $[Wh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}]$ i jest ona sumarycznym (całkowitym) rocznym ciepłem przepływającym przez jednostkę powierzchni analizowanej przegrody przy stałej temperaturze powietrza od strony pomieszczenia i zmiennych warunkach otoczenia, gdzie $q(t)$ $[W \cdot m^{-2}]$ jest chwilową wartością gęstości strumienia ciepła przepływającego przez analizowaną przegrodę. W przypadku strat ciepła $q(t) > 0$, natomiast w przypadku zysków $q(t) < 0$. Wielkość $q(t)$ obejmuje ciepło wymieniane na drodze przenikania (konwekcji i przewodzenia) radiacji i promieniowania słonecznego.

Ciepło, które przepłynęło przez przegrodę jest sumą bezwzględnych wartości strat q_s i zysków q_z :

$$q_c = |q_s| + |q_z| \quad (3)$$

Celem obliczeń optymalizacyjnych jest wyznaczenie punktu, w którym ciepło q_c osiąga minimum. Znalezienie wspomnianego punktu jest równoznaczne ze wskazaniem przegrody o „najlepszej” izolacyjności cieplnej, (tzn. minimalizującej sumę zysków i strat ciepła, jako funkcję jej położenia). Współrzędne poszukiwanego „punktu” będą optymalnymi (w wyżej podanym znaczeniu) wartościami parametrów położenia przeszklonej części analizowanego okna.

Wprowadzając współczynniki wagowe k_z $[zł \cdot J^{-1}]$ i k_s $[zł \cdot J^{-1}]$ można funkcji celu nadać sens rocznego kosztu utrzymania komfortu cieplnego polegającego na utrzymaniu stałej temperatury powietrza od strony pomieszczenia:

$$k_c = k_s |q_s| + k_z |q_z| \quad (4)$$

gdzie:

k_s $[zł \cdot J^{-1}]$ – koszt ogrzewania, k_z $[zł \cdot J^{-1}]$ – koszt chłodzenia.

Współrzędne minimum funkcji q_c i k_c będą identyczne tylko w szczególnym przypadku, gdy $k_z = k_s$.

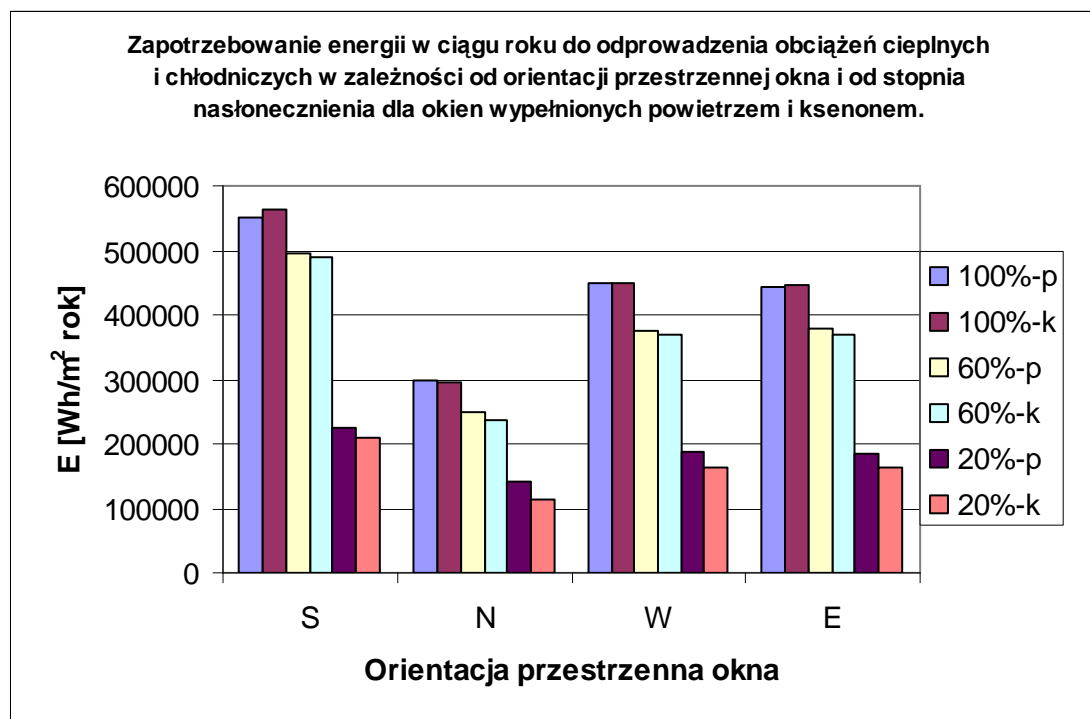
Szczegółowy opis budowy metody i tworzenia baz danych zamieszczono w pracy [7].

4. Wyniki

Korzystając z opracowanej metody optymalizacyjnej przeprowadzono obliczenia dotyczące orientacji przestrzennej budynku, zakładając zapewnienie komfortu cieplnego w budynku. Komfort cieplny dla pomieszczenia mieszkalnego jest to stan, w którym człowiek czuje, że jego organizm znajduje się w stanie zrównoważonego bilansu cieplnego, tzn. nie odczuwa ani uczucia ciepła, ani zimna. W naszych warunkach klimatycznych zapewnienie komfortu cieplnego wymaga przede wszystkim ogrzewania, ale także chłodzenia. Opracowana metoda optymalizacyjna po-

zwala zaproponować taką orientację przestrzenną budynku, aby suma nakładów na ogrzewanie i chłodzenie była minimalna.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników obliczeń optymalizacyjnych w pierwszej kolejności sprawdzono zużycie energii na zbilansowanie wymiany ciepła przez dwuszybową przegrodę przezroczystą w ciągu całego roku kalendarzowego. Przestrzeń między szybową wypełniono mieszaniną o różnych proporcjach powietrza i ksenonu. Z rys. 3 można zauważyć prawidłowość, że okna na ścianie południowej budynku wymagają w ciągu roku największej ilości energii związanej z utrzymaniem komfortu cieplnego w pomieszczeniach, najmniejsze zużycie energii generują okna skierowane na północ, okna skierowane na wschód i zachód generują porównywalną ilość wymienianego ciepła w ciągu roku przez analizowaną przegrodę.



Rys. 3. Zapotrzebowanie energii na utrzymanie komfortu cieplnego w pomieszczeniu mieszkalnym związanego z wymianą ciepła przez centralną część optymalnego dwuszybowego okna zespolonego wypełnionego powietrzem lub ksenonem w zależności od orientacji przestrzennej i stopnia nasłonecznienia

Fig. 3. The energy demand for heat comfort keeping in accommodation connected with heat exchange through the central part of optimal two-pane window filled up with air or xenon as a function of orientation and insolation degree

Prawidłowość przedstawiona na wykresie i opisana wyżej wynika z faktu, iż w ciągu całego roku kalendarzowego w bilansie ciepła przez omawianą przegrodę dominują zyski ciepłe i z tym związane koszty z ich odprowadzeniem. Dla tej samej orientacji przestrzennej oraz stopnia nasłonecznienia szczelina wypełniona powietrzem powoduje nieznacznie większe zużycie energii niż wypełnienie ksenonem, co sugeruje poprawność wykonanych obliczeń. Powszechnie wiadomo, że okna charakteryzujące się lepszymi parametrami termoizolacyjnymi powinny minimalizować ilość wymienianego ciepła w ciągu roku. Prawidłowość ta zachwiana jest nieznacznie jedynie w warunkach 100 % nasłonecznienia okna dla orientacji S, W i E. Przy tych stałych parametrach zadań optymalizacyjnych zmienna decyzyjna, jaką jest absorpcyjność osiąga wysokie warto-

ści. Można więc wysnuć wniosek, że dla takich warunków zmiana rozkładu temperatur w układzie okiennym spowodowana wzrostem temperatury szyby wynikającym z procesu pochłaniania promieniowania słonecznego w szybie, wymaga zintensyfikowania wymiany ciepła przez szybę, a zatem gazem o lepszych właściwościach energooszczędnych dla tego przypadku okaże się powietrze a nie ksenon. Wpływ wypełnienia szczeliny odpowiednim gazem najwyraźniej zauważalny jest w oknach, do których dociera najmniej promieniowania słonecznego, czyli okien skierowanych na północ i o największym stopniu zacielenia. W takim przypadku główną rolę w rocznym bilansie cieplnym centralnej części okna zespolonego zaczynają odgrywać straty ciepła. Na znaczeniu przybierają wówczas właściwości termoizolacyjne poszczególnych komponentów okna

zespolonego, w tym gazu w szczelinie. W pozostałych oknach roczny bilans ciepła optymalnych okien wypełnionych powietrzem i ksenonem jest porównywalny.

5. Wnioski

Przeprowadzone studia literatury, analizy i badania symulacyjne pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Opracowana metoda optymalizacji orientacji przestrzennej budynku z oknami umożliwia takie rozwiązanie w tym zakresie, aby sumaryczne nakłady energii cieplnej w roku na jego eksploatację były minimalne.
2. Metoda ma charakter uniwersalny i może być wykorzystywana do budynków o różnym przeznaczeniu, po warunkiem, że znane są parametry cieplne jego eksploatacji.
3. Złożoność metody w zastosowaniu praktycznym można znacznie uprościć wykorzystując do obliczeń i budowy baz danych typowe programy komputerowe.

6. Bibliografia

- [1] Cengel Y. A.: Heat and Mass Transfer (A practical approach), 3rd Ed. Singapore, McGraw Hill, 2007.
- [2] Hutchins M. G., Platzer W. J.: The thermal performance of advanced glazing materials, *Renewable Energy*, 8(1996) s. 540-545.
- [3] Januszewski J.: Zyski ciepła przez przegrody przezroczyste. Część I, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Klimatyzacja*, 12(1995) s. 563-566.
- [4] Januszewski J.: Zyski ciepła przez przegrody przezroczyste. Część II, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Klimatyzacja*, 1(1997) s. 11-13.
- [5] Król M., Białecki R. A.: Ograniczenie strat ciepła przez wkłady okienne, VIII Ogólnopolskie Sympozjum Zastosowana Mechanika Płynów w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Gliwice - Wisła 2003.
- [6] Reilly S., Arasteh D., Rubin M.: The effects of infrared absorbing gasses on window heat transfer: a comparison of theory and experiment. *Solar Energy Materials*, 20(1990) s. 277-288.
- [7] Rzeźnik I.: Optymalizacja cieplna części przeszklonej okien. Rozprawa doktorska. Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, 2008 r.
- [8] Rzeźnik I., Wojtkowiak J.: Wpływ absorpcji promieniowania słonecznego na bilans cieplny pionowych przezroczystych przegród budowlanych, XII International Conference Air Conditioning Protection & District Heating 2008, s. 445-450.
- [9] Rzeźnik W.: Odzysk ciepła z budynku inwentarskiego. Rozprawa doktorska. Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Poznaniu, 2012 r.