

## DOŚTĘPNOŚĆ PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO A KSZTAŁTOWANIE FASADY BUDYNKU

Dorota CHWIEDUK\*

\* Politechnika Warszawska, Instytut Techniki Ciepłej, MEiL  
ul. Nowowiejska 21/25, 00-665 Warszawa, e-mail: dchwied@itc.pw.edu.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono rozważania dotyczące oddziaływania energii promieniowania słonecznego na obudowę wybranego kształtu budynku niskoenergetycznego. Na podstawie przyjętego modelu matematycznego napromieniowywania słonecznego powierzchni budynku, zgodnie ze zmieniającymi się w czasie warunkami otoczenia, przeprowadzono symulację oddziaływania promieniowania słonecznego na budynek w kolejnych miesiącach uśrednionego roku. Na tej podstawie sformułowano wnioski odnośnie do tworzenia przedmiotowego kształtu budynku i jego struktury.

**Słowa kluczowe:** Dostępność promieniowania słonecznego, kształtowanie obudowy budynku.

### 1. WPROWADZENIE

Przez wiele lat współczynniki przenikania ciepła przez przegrody nieprzezroczyste i przezroczyste były bardzo wysokie. Powodowało to, że w czasie sezonu grzewczego straty ciepła do otoczenia zewnętrznego były bardzo duże, dodatkowo duże były straty ciepła na wentylację (infiltrację), a pojemność cieplna budynków była bardzo mała. W konsekwencji wpływ promieniowania ciepłego był niezauważalny. Promieniowanie słoneczne, które docierało przez przezroczyste przegrody do wnętrza budynku (do przegród wewnętrznych, podłóg, stropów, mebli) szybko było „tracone”, przepływając na zewnątrz.

W latach 90-tych rozpoczęły się działania na rzecz zmniejszenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania pomieszczeń. Tendencja ta ma charakter ciągły i jest typowa dla nowoczesnego budownictwa energooszczędnego, czego wyrazem jest stałe zmniejszanie się wskaźników energochłonności eksploatacyjnej budynków. Ostatnio w 2005 r. w krajach UE średnie współczynniki przenikania ciepła dla przegród nieprzezroczystych i okien wynosiły  $0.65 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  i  $2,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  odpowiednio [4].

Przewiduje się [4], że średnie współczynniki przenikania ciepła w krajach UE w 2030 w odniesieniu do nieprzezroczystych przegród zewnętrznych i okien będą wynosić już tylko  $0.23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  i  $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  odpowiednio.

Należy stwierdzić, że przy tak istotnym spadku współczynników przenikania ciepła, w znacznym stopniu maleją straty ciepła z budynku, natomiast transmisyjność przegród przezroczystych dla promieniowania słonecznego pozostaje niezmienna. Promieniowanie słoneczne wnika do wnętrza budynków i tam pozostaje dzięki coraz większej izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych i pojemności cieplnej struktury budynku. Jest więc sprawą oczywistą, że oddziaływanie promieniowania słonecznego i wpływ tego promieniowania na bilans cieplny pomieszczeń jest i będzie coraz bardziej widoczny i odczuwalny.

### 2. MODELOWANIE NAPROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

W analizach dostępności promieniowania słonecznego i możliwości wykorzystania energii promieniowania słonecznego przez heliopasywne i helioaktywne elementy obudowy budynku istotne jest określenie położenia danej powierzchni względem Słońca. Położenie danej powierzchni na kuli ziemskiej jest opisane za pomocą współrzędnych geograficznych: szerokości i długości geograficznej oraz współrzędnych usytuowania danej powierzchni, czyli jej kąta pochylenia względem poziomej powierzchni ziemi i kąta azymutalnego, tj. zorientowania względem stron świata. Położenie powierzchni wpływa na wielkość strumienia energii promieniowania słonecznego docierającego do tej powierzchni.

Przy wyznaczaniu dostępności promieniowania słonecznego istotne jest określenie położenia danej powierzchni na Ziemi i położenia Ziemi względem Słońca w danym czasie.

W tym celu należy skorzystać z zależności matematycznych opisujących przy wykorzystaniu geometrii sferycznej astronomiczne zależności położenia Ziemi i Słońca, w tym lokalizację i usytuowanie danej powierzchni na Ziemi względem Słońca [2], [3], [5].

Parametry geometrii sferycznej układu czasoprzestrzennego Ziemia – Słońce są wykorzystywane przy wyznaczaniu dostępności promieniowania słonecznego do dowolnie zlokalizowanej i usytuowanej powierzchni na Ziemi. Analiza dostępności i obliczenia symulacyjne zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu modelu anizotropowego promieniowania rozproszonego. Zgodnie z tym modelem, natężenie promieniowania zależy od kierunku, z którego dociera [2] (promieniowanie bezpośrednie jest w każdym modelu ściśle ukierunkowane).

Korzystając z modelu matematycznego zjawisk fizycznych zachodzących przy napromieniowaniu słonecznym anizotropowym dowolnej powierzchni przeprowadzono obliczenia symulacyjne napromieniowania słonecznego odpowiednio usytuowanych powierzchni budynku o wybranym kształcie. Do symulacji wykorzystano własne autorskie programy numeryczne napisane w środowisku MATLAB.

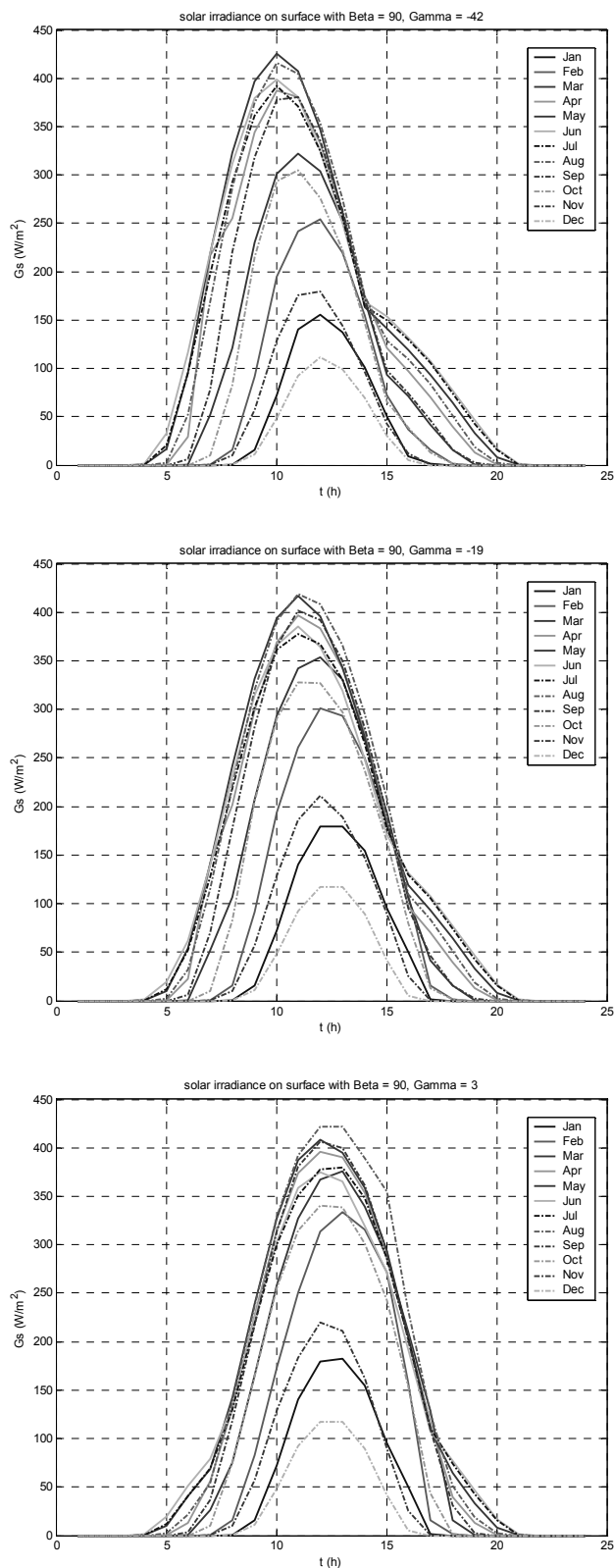
### 3. OSZACOWANIE NAPROMIENIOWANIA FASADY WYBRANEGO KSZTAŁTU BUDYNKU

Jako dane wejściowe promieniowania słonecznego całkowitego i rozproszonego wykorzystano dane promieniowania słonecznego będące sumami godzinnych promieniowania całkowitego i rozproszonego na płaszczyznę poziomą, które zostały otrzymane w wyniku uśredniania rzeczywistych danych pomiarowych sum godzinnych promieniowania całkowitego i rozproszonego dla stacji aktynometrycznej na Bielanych w Warszawie [1].

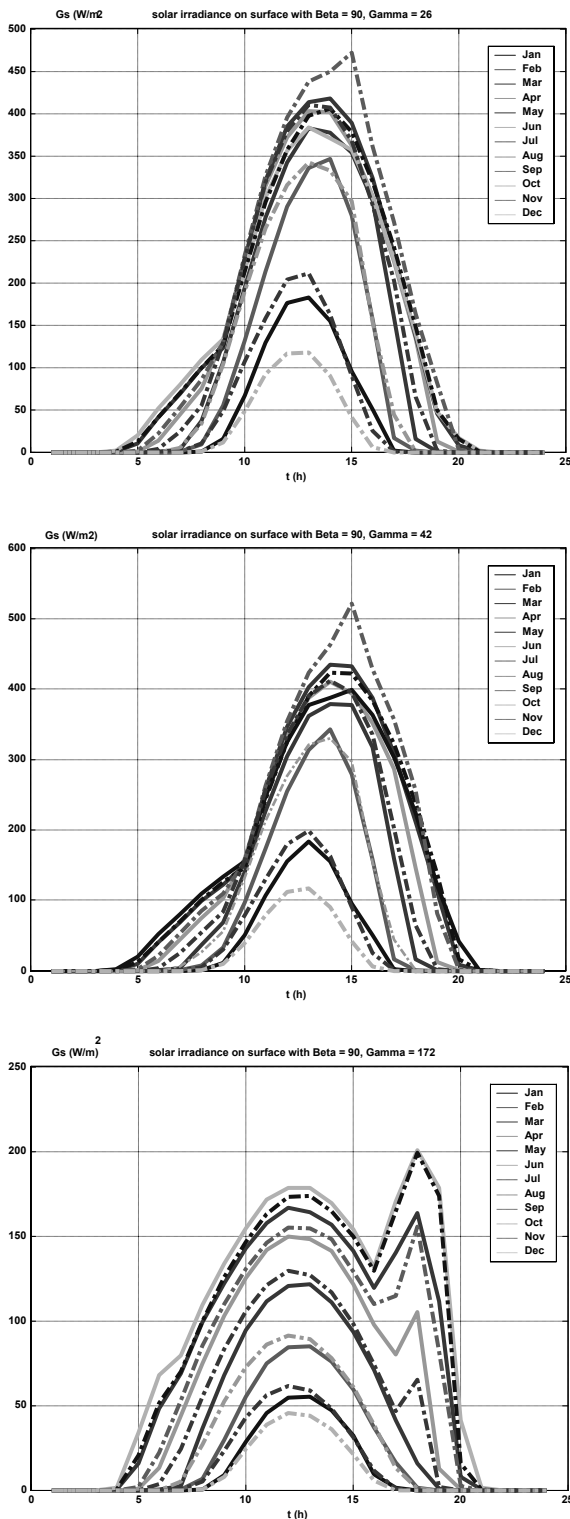
Fasady budynków niskoenergetycznych, wznoszonych w krajach położonych na wyższych szerokościach geograficznych, są tak projektowane, aby były w jak największym stopniu wystawione na oddziaływanie i pozyskiwanie energii promieniowania słonecznego. Często główna fasada budynku niskoenergetycznego ma kształt łukowaty. Budynek jest łukowaty („rozciągnięty” półkole) od strony południowej i prosty od strony północnej.

Zgodnie z powyższym, w celu zwiększenia dostępności promieniowania słonecznego, do rozważań przyjęto przykładową fasadę w kształcie łuku. Zbliżenie do kształtu łuku, w postaci rozwiniętej fasady „południowej”, zostało osiągnięte poprzez złożenie fasady z elementów w postaci powierzchni prostokątnych odchylonych od siebie o ten sam kąt. Biorąc pod uwagę warunki zimowe, rozwinięcie fasady występuje od kierunku południowo – wschodniego do południowo – zachodniego. Zimą dla większych kątów azymutalnych natężenie promieniowania słonecznego jest mniejsze niż  $20 \text{ W/m}^2$  i nie ma znaczenia użytkowego.

Na rys. 1–2 przedstawiono rozkłady dobowe natężenia promieniowania półsferycznego docierającego do wybranych powierzchni fasady w kolejnych miesiący roku.



Rys. 1. Dobowy rozkład natężenia promieniowania  $\gamma = -42^\circ, -19^\circ, 3^\circ$   
Fig. 1. Daily solar irradiance distribution  $\gamma = -42^\circ, -19^\circ, 3^\circ$ .



Rys.2. Dobowy rozkład natężenia promieniowania  $\gamma=26^{\circ}, 42^{\circ}, 172^{\circ}$   
 Fig. 2. Daily solar irradiance distribution  $\gamma=26^{\circ}, 42^{\circ}, 172^{\circ}$ .

Wybrane usytuowanie głównej fasady budynku dotyczy przegród pionowych reprezentujących kierunki orientacji

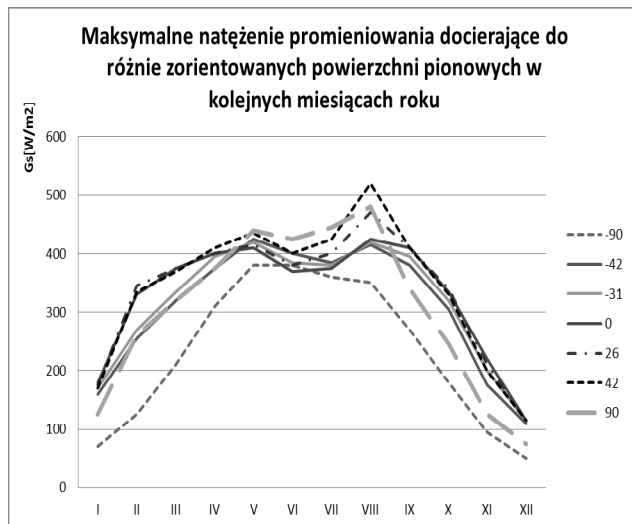
od południowo-wschodniego poprzez południowy do południowo-zachodniego o kątach azymutalnych równych:  $\gamma = -42^{\circ}, -19^{\circ}, 3^{\circ}, 26^{\circ}, 42^{\circ}$ , a także dla fasady północnej (tu  $\gamma = 172^{\circ}$ ). Analiza graficznej interpretacji otrzymanych wyników nasuwa szereg ciekawych spostrzeżeń.

W zależności od orientacji powierzchni napromieniowywanych promieniowaniem słonecznym występują wyraźne maksima rozkładu krzywych natężenia promieniowania słonecznego, które występują w różnych godzinach, w zależności od tego, kiedy do danej powierzchni dociera promieniowanie bezpośrednie i promieniowanie rozproszone okołosłoneczne. Latem najbardziej napromieniowywane są powierzchnie południowo-zachodnie (sierpień od godz. 12 do 17, natężenie rzędu 450–520 W/m<sup>2</sup>; maj i lipiec od godz. 13 do 16, natężenie rzędu 400–440 W/m<sup>2</sup>, kwiecień i wrzesień od godz. 13 do 15, natężenie rzędu 400–410 W/m<sup>2</sup>). Przez pół roku, począwszy od kwietnia do końca września, przez kilka godzin dziennie natężenie promieniowania jest powyżej 400 W/m<sup>2</sup>. Powierzchnie południowe są napromieniowywane znacznie mniej (sierpień od godz. 12 do 14, natężenie rzędu 400–425 W/m<sup>2</sup>; maj i lipiec od godz. 12 do 13, natężenie nieznacznie powyżej 400 W/m<sup>2</sup>), praktycznie tylko w sierpniu przez dwie godziny dziennie natężenie promieniowania jest 400–425 W/m<sup>2</sup>. Powierzchnie południowo-wschodnie napromieniowywane są podobnie jak powierzchnie południowe (maj i sierpień od godz. 9 do 12, natężenie rzędu 400–420 W/m<sup>2</sup>), a nawet nieznacznie lepiej. Z kolei zimą najlepiej napromieniowywane są powierzchnie południowe (w godzinach południowych w grudniu natężenie dochodzi do 120 W/m<sup>2</sup>, w styczniu do 180 W/m<sup>2</sup> i w listopadzie do 220 W/m<sup>2</sup>). W przypadku powierzchni południowo-zachodnich napromieniowanie jest niższe (w godzinach południowych w grudniu natężenie jest rzędu 110 W/m<sup>2</sup>, w styczniu 170 W/m<sup>2</sup> i w listopadzie 200 W/m<sup>2</sup>). Najniższe natężenia promieniowania słonecznego występują dla powierzchni od strony południowo-wschodniej (w godzinach południowych w grudniu natężenie jest rzędu 105 W/m<sup>2</sup>, w styczniu 150 W/m<sup>2</sup> i w listopadzie 175 W/m<sup>2</sup>).

Na rys. 2 przedstawiono dodatkowo (ostatni dolny wykres) rozkład dobowy natężenia promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni pionowych. Charakterystyczny jest rozkład dla miesięcy letnich. Do powierzchni pionowych promieniowanie słoneczne dociera bezpośrednio w godzinach rannych i popołudniowych (Słońce wschodzi i zachodzi przed linią wschód-zachód). Poziom natężenia promieniowania słonecznego jest szczególnie wysoki w godzinach południowych, co powoduje charakterystyczny gwałtowny wzrost natężenia promieniowania docierającego do pionowej powierzchni północnej, gdy ponownie w ciągu dnia zaczyna „widzieć” Słońce (pik natężenia latem około godziny 18-tej).

Przeprowadzono porównanie maksymalnych wielkości natężenia promieniowania słonecznego docierających do powierzchni obudowy budynku o rozwiniętej fasadzie od

kierunku południowo – wschodniego do południowo – zachodniego, dodatkowo dla celów porównawczych uwzględniono powierzchnie wschodnie i zachodnie.

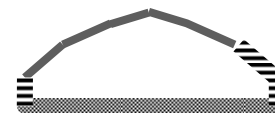


Rys. 3. Rozkład maksymalnych natężeń promieniowania słonecznego na poszczególnych powierzchniach (różnie zorientowanych) rozbudowanej frontowej fasady budynku.

Fig. 3. Distribution of solar irradiance incident on surfaces (with different orientation) of the façade under consideration.

Analizując rys. 3 oraz uwzględniając poprzednie rys. 1 i 2 można zauważyć, że najmniej napromieniowywana jest powierzchnia wschodnia praktycznie we wszystkich miesiącach roku, a zwłaszcza zimą. Stworzenie obudowy z łukowatą fasadą, czyli z obrysem kształtu na ziemi w postaci prostej łamanej wpisanej w spłaszczony okrąg, od kierunku południowo – wschodniego do południowo zachodniego poprawia warunki dostępności promieniowania słonecznego zimą w porównaniu z powierzchnią zachodnią, a nawet dłużej, a mianowicie od września do kwietnia (od marca do maja podobne warunki ma przegroda południowo - wschodnia). Ze względu na wzrost dostępności promieniowania słonecznego zimą, rozciągnięcie głównej fasady, a przede wszystkim jej przeszklenie, w zakresie kątów od  $-45^{\circ}$  do  $45^{\circ}$  jest wskazane. Natomiast latem, od czerwca do września na największe nasłonecznienie narażona jest przegroda południowo – zachodnia, w szczególności w zakresie rozważanych tu kątów od  $25^{\circ}$  do  $45^{\circ}$  (maksimum w sierpniu). Dlatego też należy szczególnie zacienić tę część fasady, lub znacznie ograniczyć przeszklenia, co w sposób ideowy ilustruje rys. 4. Analizując warunki napromieniania w skali całego można stwierdzić, że przeszklenia głównej łukowatej fasady powinny być umieszczone w zakresie kątów od  $-45^{\circ}$  do  $25^{\circ}$  -  $30^{\circ}$ . Na rys. 4 grubą kropkowaną linią zaznaczono przegrodę północną, która powinna charakteryzować się bardzo dobrą izolacyjnością cieplną i nie powinna zawierać żadnych przeszkleń. Liniami grubymi kreskowanymi poziomo zaznaczono przegrody od strony wschodniej, zachodniej i południowo – zachodniej,

które mogą zawierać przeszklenia, ale o niewielkiej powierzchni. Natomiast liniami cieńszymi ciągłymi przedstawiono przegrody z możliwe dużymi przeszkleniami.



Rys. 4. Idea kształtowania rozważanej fasady.

Fig.4. Idea of shaping façade under consideration.

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych analiz można sformułować ogólne zalecenia, co do koncepcji rozważanego kształtu budynku, w tym co do typu przegrody, np. czy ma to być przegroda pełna nieprzezroczysta, czy przeszklenie z zacienieniem lub bez. Należy stwierdzić, że przykład kształtu rozważanej fasady zbliżony do eliptycznego, z fasadą główną rozciągniętą od strony południowej, najlepiej w zakresie kątów azymutalnych od  $-45^{\circ}$  do  $+30^{\circ}$  zaleca się stosować w naszych warunkach klimatycznych ze względu na napromienianie słoneczne.

Artykuł jest wynikiem prac badawczych realizowanych i finansowanych w projekcie POIG.01.01.02-10-106/09-01, PT7, T3

#### SOLAR ENERGY AVAILABILITY AND SHAPING BUILDING FACADE

**Summary:** The paper considers solar energy availability on the selected façade shape of a low energy building. On a base of mathematical model of solar energy availability the numerical simulation of solar radiation incident on surfaces of the building envelope for the whole year has been performed. Results allow to formulate recommendation for structure of building envelope.

#### Literatura

- [1] Chwieduk D., Bogdańska B., *Some recommendations for inclinations and orientations of building elements under solar radiation in Polish conditions*, Renewable Energy, Vol. 29, 2004, pp. 1569 - 1581
- [2] Duffie J. A., Beckman W. A.: *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, Inc., 1999
- [3] Gordon J.: *Solar energy the state of the art.*, ISES position papers, UK 2001
- [4] Miller A., Innovative approach to building materials. Presentation at the International WREN – World Renewable Energy Network Seminar, Brighton, UK, 2008
- [5] Quaschnig V.: *Understanding Renewable Energy Systems*, EARTHSCAN, London, UK, 2006