

Kierunkowe odbicie promieniowania słonecznego od dachów budynków

Streszczenie. Przedstawiono zjawisko odbicia kierunkowego promieniowania słonecznego od dachów budynków pokrytych dachówką ze szklistą zewnętrzną warstwą ochronną. Rejestrowane w porze letniej wartości luminancji błyszczących fragmentów dachów odbijających kierunkowo, mogą przekraczać ponad tysiącrotnie wartości luminancji nieboskłonu i otoczenia i mogą powodować w pomieszczeniach sąsiednich budynków nieporządane zjawisko ośnienia, przyczyniając się do obniżenia jakości życia sąsiadów. To negatywne zjawisko można eliminować poprzez właściwe ukształtowanie sąsiednich budynków, odpowiedni dobór materiału pokrycia dachowego lub wprowadzanie np. ekranów z zieleni.

Abstract. Recorded in the summer, the luminance values of directionally reflective roofs fragments may exceed more than a thousand times the luminance of the sky and the environment and for that reason can cause undesirable glare, giving the reduction of quality of neighbors life. This negative effect can be eliminated by proper location of the neighboring buildings, appropriate choice of roofing material or placing eg. green screens between them. **The effect of solar radiation directional reflectance of roofs coated with the glass layer protection**

Słowa kluczowe: ośnienie przeszkadzające, luminancja, promieniowanie słoneczne.

Keywords: disability glare, luminance, sunlight.

Wstęp

W ostatnich latach jedną z form pokryć dachowych, szczególnie chętnie stosowaną dla domów jednorodzinnych, są ceramiczne dachówki glazurowane, których zewnętrzną warstwę stanowi szklivo. Zadaniem tej warstwy jest podniesienie wartości eksploatacyjnych dachówki (zwiększenie trwałości i odporności na warunki zewnętrzne i zabrudzenia) oraz uzyskanie pozytywnych efektów estetycznych wyróżniających obiekt spośród innych. W niektórych przypadkach, przy niekorzystnym usytuowaniu Słońca, odbijającego dachu i obserwatora może dojść do ośnienia przykrego (przeszkadzającego). Podobnych zjawisk można oczekiwać wszędzie tam, gdzie odbicie kierunkowe promieniowania słonecznego może kolidować z pracującym wzrokowo człowiekiem. Artykuł ma za zadanie zwrócić uwagę na możliwość wystąpienia powyższej sytuacji, na przykładzie zaobserwowanym w terenie.

Napromienienie powierzchni dachu

Promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi można podzielić na dwa rodzaje: promieniowanie bezpośrednie (kierunkowe) docierające do rozpatrywanej powierzchni tylko z kierunku określonego położeniem tarczy słonecznej oraz promieniowanie pośrednie powstające na skutek częściowego rozproszenia promieniowania słonecznego w atmosferze i docierające do dachu z całego nieboskłonu w postaci promieniowania dyfuzyjnego. Przy rozpatrywaniu odbicia przeszkadzającego uwzględnia się głównie promieniowanie bezpośrednie.

Położenie Słońca na nieboskłonie względem poziomej płaszczyzny na powierzchni Ziemi (lub obserwatora) określają dwa kąty: kąt azymutalny γ_z i kąt zenitalny θ_z ¹. dopełnieniem kąta zenitalnego jest kąt wzniesienia (kąt elewacyjny) Słońca α_z .

Kąty te wyznaczyć można z grupy zależności (1):

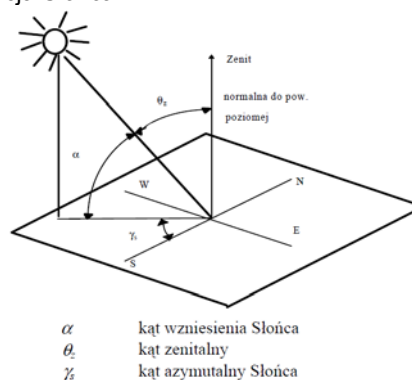
$$(1) \cos(\gamma_z) = (\sin(\alpha_z) \sin(\phi) - \sin(\delta_z)) / (\cos(\alpha_z) \cos(\phi))$$

$$\cos \theta_z = \sin \delta_z \sin \phi + \cos \delta_z \cos \phi \cos \omega$$

$$\alpha_z = (90 - \theta_z)$$

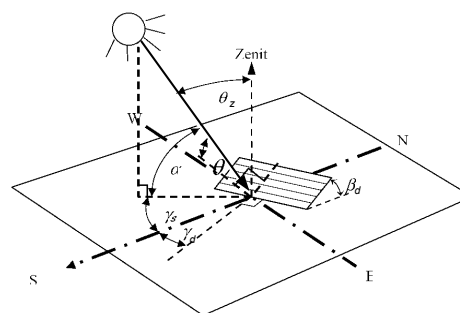
¹ Indeks „z” oznacza dotyczy promieniowania słonecznego podającego na poziomą powierzchnię Ziemi, indeks „d” na powierzchnię dachu.

gdzie: ϕ - szerokość geograficzna, ω - tzw. kąt godzinny, a δ_z to deklinacja Słońca.



Rys.1 Określenie położenia Słońca na nieboskłonie

Wartość natężenia napromienienia dachu budowli, oprócz chwilowych warunków atmosferycznych, zależy także od geograficznego położenia rozpatrywanej budowli (szerokości geograficznej ϕ), kąta nachylenia dachu, pory roku i czasu astronomicznego.



Rys.2. Zależności pomiędzy położeniem Słońca a nachyloną powierzchnią dachu

Rysunek 2 przedstawia powierzchnię dachu, nachyloną do powierzchni Ziemi pod kątem β_d , i odchyloną od kierunku północ-południe o kąt azymutalny γ_d , przy czym bezpośrednie promieniowanie Słońca pada na poziomą płaszczyznę Ziemi pod kątem zenitalnym θ_z , i kątem azymutalnym γ_z , a tym samym na rozpatrywaną płaszczyznę dachu pod kątem θ_d i γ_d .

Kąt padania bezpośredniego promieniowania słonecznego na dowolnie usytuowaną płaszczyznę dachu określa wzór Benforda i Backa przytaczany w [2,3,4]:

$$(2) \quad \cos(\theta_d) = \sin(\delta_z) \sin(\phi) \cos(\beta_d) - \sin(\delta_z) \cos(\phi) \sin(\phi) \sin(\delta_z) + \cos(\delta_z) \cos(\phi) \cos(\beta_d) \cos(\omega) + \cos(\delta_z) \sin(\phi) \sin(\beta_d) \cos(\omega) + \cos(\delta_z) \sin(\beta_d) \sin(\delta_z) \sin(\omega)$$

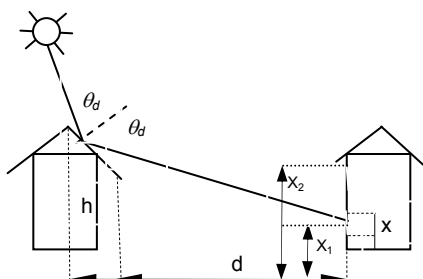
gdzie: δ_z to deklinacja Słońca wyznaczona jest w stopniach, będąca odchyleniem kątowym płaszczyzny równika od orbity słonecznej dla półkuli północnej, określa ją z dokładnością do 1% wzór Coopera [2,3,4]

$$(3) \quad \delta_s = 23,45 \sin \left[360 \frac{284 + n}{365} \right]$$

gdzie n to kolejny dzień roku (dla 1 stycznia n=1), ϕ - szerokość geograficzna, ω - tzw. kąt godzinny przyjmujący dla południa astronomicznego wartość 0 i zmianę o $+0,25^\circ$ dla każdej minuty po południu i $-0,25^\circ$ przed południem.

Geometria układu

Rozpatrywany układ to Słońce i dwa domy tak jak to przedstawiono na rys 3,



Rys. 3 Rozmieszczenie Słońca i budynków

gdzie: d – odległość okno – punkt odbicia na dachu, możliwy zakres wartości: $d_2 - d_1$, x – wysokość okna ponad poziom, $x \in (x_2 - x_1)$, h – wysokość dachu ponad poziom, $h \in (h_2 - h_1)$, a θ_d – kąt padania i odbicia promieniowania słonecznego od dachu wyznaczany wg. wzoru 2.

Bezpośrednie promieniowanie słoneczne po odbiciu od dachu pierwszego budynku – w pewnych przypadkach – „trafia” w okna sąsiedniego budynku. Analizując układ przedstawiony na rys.3 można wykazać, że

$$(4) \quad \theta = (90 - \eta) + (90 - \delta)$$

gdzie: δ - to kąt nachylenia dachu, a η określa się zależnością:

$$(5) \quad \eta = \arctg \frac{d}{h - x}$$

przy czym $d \in (d_2, d_1)$, a $x \in (x_2, x_1)$. Wartość kąta η może tym samym zmieniać się w zakresie $\eta_{max} - \eta_{min}$, co warunkuje zmienność kąta θ – liczonego wg wzoru (4) – w zakresie $\theta_{max} - \theta_{min}$.

Jeśli kąt padania bezpośredniego promieniowania słonecznego θ na odbijający dach – wynikającego m.in. z położenia Słońca na nieboskłonie i wyznaczonego wg wzoru (2) – mieści się w granicach:

$$(6) \quad \theta_{min} < \theta < \theta_{max}$$

to promieniowanie po odbiciu kierunkowym od dachu budynku będzie padać na okna sąsiedniego budynku i tym samym będzie odczuwalne w pomieszczeniach.

Pomiary luminancji

Pomiary badanej zjawiska przeprowadzono w miejscowości położonej niedaleko Poznania, w której jeden z większych budynków mieszkalnych pokryty został dachówką wykończoną powierzchniowo szklivem dającym silnie odbicie kierunkowe. Skutkowało to (w godzinach południowych, w miesiącach letnich przy dużym nasłonecznieniu) wizualnym efektem w postaci silnie błyszczącego dachu oraz słonecznym promieniowaniem odbitym kierunkowo rejestrowanym w niektórych pomieszczeniach sąsiedniego budynku.

Pomiarów z wnętrza pomieszczeń dokonano miernikiem rozkładu luminancji typu LMT v98-4 firmy TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH. Miernik ten wyposażony jest w matrycę CCD, zapewnia dokładność pomiaru luminancji $>3\%$, przy standardowej rozdzielczości 1380 x 1030 pixeli.

Widok ogólny budynku z odbijającym kierunkowo dachem oraz widok oświetlanego pomieszczenia przedstawia rys.4.



Rys.4 Widok dachu odbijającego kierunkowo i pomieszczenia oświetlonego zewnątrz promieniowaniem odbitym

Tabela 1 Luminancja fragmentów dachu odbijającego kierunkowo

L.p.	nr pkt obserwacji (nr pokoju)	nr fragmentu dachu	luminancja	
			średnia fragmentu	maks.
cd/m ²				
dach z odbiciem kierunkowym				
1	1	2	51000	8,463 10 ⁶
2	2	1	29040	4,794 10 ⁶
3	4	1	116300	13,880 10⁶
4		3	355500	13,880 10⁶
5	4	2	93140	10,210 10⁶
6		1	145100	14,840 10⁶
7		3	540000	14,840 10⁶
8		2	148500	14,010 10⁶
9	5	4	478900	13,730 10⁶
10		1	485900	9,123 10 ⁶
11		7	1	467400
12	7	1	515600	16,350 10⁶
13		1	322000	14,890 10⁶
14		1	322000	14,890 10⁶

Tabela 2 Luminancja fragmentów nieboskłonu i innych sąsiednich powierzchni nie odbijających kierunkowo

L.p.	nr pkt obserwacji (nr pokoju)	nr fragmentu powierzchni	luminancja	
			średnia fragmentu	maks.
cd/m ²				
nieboskłon i otoczenie				
1	2	dach inny	554,9	4483
2		nieboskłon	6330	6484

3	2	nieboskłon	13370	14 160
4		nieboskłon	13370	14 160
5		dach inny	1442	8741
6	3	nieboskłon	13370	14 160
7		dach inny	1442	8741
8		nieboskłon	13370	14 160
9		dach inny	1442	8741
10	4	nieboskłon	13370	14 160

Wybrane wyniki luminancji fragmentów dachów mierzone wewnątrz budynku oraz innych powierzchni zawiera tabela 1 i 2.

Wnioski

1. Maksymalne wartości luminancji fragmentów dachu wykazującego odbicie kierunkowe, przy dużych wartościach nasłonecznienia, mierzone w różnych pomieszczeniach, w wielu przypadkach osiągają wartości **rzędu kilkunastu milionów kandel/m²**
2. Maksymalne wartości luminancji fragmentów dachu nie objętych zjawiskiem odbicia kierunkowego, wartości luminancji innych dachów oraz innych powierzchni, ścian bocznych i nieboskłonu kształtują się na poziomie **do kilkunastu tysięcy kandel/m²**. Wartościami maksymalnymi charakteryzuje się przy tym nieboskłon.
3. Można oczekiwać, że tak znaczne wartości luminancji błyszczących fragmentów dachów odbijających kierunkowo, przekraczające tysiąckrotnie wartości luminancji nieboskłonu i otoczenia, mogą powodować w

pomieszczeniach sąsiednich budynków nieporządane zjawisko olśnienia przyczyniając się do obniżenia jakości życia.

4. Negatywne oddziaływanie zjawiska odbicia kierunkowego od dachów sąsiednich budynków można wyeliminować poprzez właściwe ukształtowanie sąsiednich budynków, odpowiedni dobór materiału pokrycia dachowego lub wprowadzanie odpowiednich ekranów np. z zieleni.

Temat finansowany w ramach Badań Statutowych IEEP Politechniki Poznańskiej nr PP=42-233/2014

LITERATURA

- [1] Chwieduk D., Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku. PPPT PAN, W-wa, 2006
- [2] Bedford F., Back J.E.: A time analysis of Sunshine. Trans. Of Illumination Engineering Society, 34, 1939, 200
- [3] Nowicki J.: Promieniowanie słoneczne jako źródło energii. Arkady, W-wa, 1980
- [4] Pluta Z.: Słoneczne pasywne instalacje przygotowania ciepłej wody użytkowej. Oficyna Wyd. Pol. Warszawskiej, W-wa, 1998
- [5] Chwieduk D.: Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku. Prace IPPT PAN, IFTR Reports 11/2006

Autorzy: *prof. dr hab. inż. Konrad Domke, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: konrad.domke@put.poznan.pl; dr inż. Przemysław Skrzypczak, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: przemyslaw.s.skrzypczak@put.poznan.pl*