

WSPÓLCZYNNIK PRZEZROCZYŚCІ ATMOSFERY NA WYBRANYCH STACJACH POŁUDNIOWEJ I WSCHODNIEJ CZĘŚCI POLSKI

P. Michalak

Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki,
Akademia Górniczo – Hutnicza, Kraków, Polska

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono metodykę oraz rezultaty obliczeń współczynnika przezroczystości atmosfery dla czternastu stacji meteorologicznych IMGW zlokalizowanych w południowej i wschodniej Polsce.

Współczynnik ten wykorzystywany jest przy określaniu wielkości promieniowania bezpośredniego i rozproszonego w ocenie zasobów energetycznych promieniowania słonecznego. Jest to często stosowana procedura obliczeń, oparta na odpowiednich modelach matematycznych. Nie wymaga ona, na etapie projektu instalacji, odpowiednich danych promieniowania bezpośredniego i rozproszonego, a więc także odpowiedniego kosztownego sprzętu pomiarowego.

WSTĘP

Zmienność czasowa promieniowania słonecznego padającego na ziemię jest uzależniona od okresowości ruchu obrotowego Ziemi oraz czynników takich, jak przezroczystość atmosfery. Jej znajomość jest pomocna w obliczeniach energetycznych przy określaniu udziałów składowych bezpośredniej i dyfuzyjnej promieniowania słonecznego dla danej lokalizacji.

Do przeprowadzenia obliczeń energii promieniowania słonecznego na danym obszarze niezbędna jest znajomość średnich udziałów składowych bezpośredniej i dyfuzyjnej promieniowania słonecznego dla analizowanych miesięcy. Najczęściej nie dysponujemy odpowiednimi danymi pomiarowymi dla danej lokalizacji. Wartości te można obliczyć na podstawie znajomości współczynnika przezroczystości atmosfery K_T .

Istniejące metody analityczne pozwalają w oparciu o wartość K_T określić udział promieniowania bezpośredniego i rozproszonego z dokładnością wystarczającą dla potrzeb instalacji wykorzystujących energię słoneczną.

Określenie współczynnika przejrzystości atmosfery umożliwiającą pomiarowe dane meteorologiczne wielkości energii promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię poziomą. Podstawą tej metody jest założenie, że stosunek całkowitego promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi, do promieniowania na górnej granicy atmosfery w tym samym miejscu i tym samym

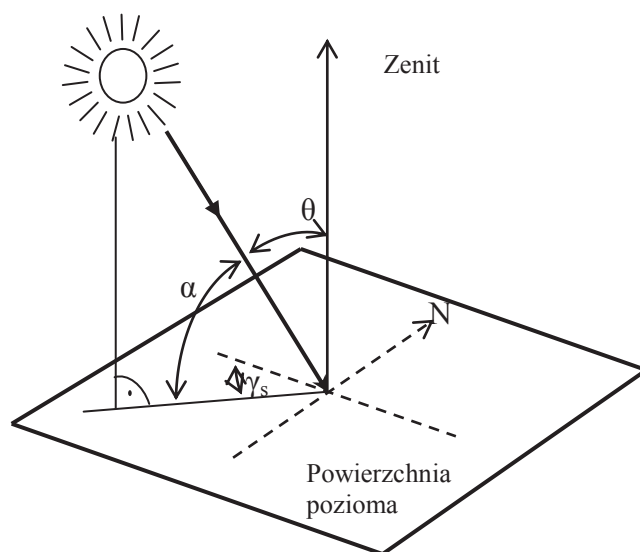
okresie czasu jest funkcją liniową o parametrach wyznaczanych empirycznie, zależnych od lokalizacji.

ZMIENNOŚĆ CZASOWA PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Obrót Ziemi powoduje, iż kąt padania promieniowania słonecznego (bezpośredniego) na nieruchomą płaszczyznę horyzontalną zmienia się w ciągu doby. Zmiany te są inne w kolejnych dobach roku oraz są zależne od szerokości geograficznej.

Położenie Słońca oraz kierunek padania promieniowania słonecznego na badaną powierzchnię określa się za pomocą podstawowych parametrów kątowych, do których zalicza się kolejno (rys. 1):

- kąt wzniesienia Słońca α ,
- chwilowy kąt padania bezpośredniego promieniowania słonecznego na daną płaszczyznę θ ,
- kąt zenitalny θ_z ,
- kąt pochylenia danej powierzchni względem poziomu β
- oraz szerokość geograficzna ϕ rozpatrywanej lokalizacji.



Rys. 1. Promieniowanie słoneczne padające na powierzchnię poziomą, (Kaiser, 1995), (Chwieduk, 2006).

Kąt θ mierzony między kierunkiem padania promieniowania bezpośredniego na daną powierzchnię a normalną do tej powierzchni jest wyrażany (Chwieduk, 2006), (Kaiser, 1995), (Pluta, 2000) zależnością:

$$\cos(\theta) = \sin(\delta) [\sin(\phi) \cos(\beta) - \cos(\phi) \sin(\beta) \cos(\gamma)] + \cos(\delta) [\cos(\phi) \cos(\beta) \cos(\omega) + \sin(\phi) \sin(\beta) \cos(\gamma) \cos(\omega) + \sin(\beta) \sin(\gamma) \sin(\omega)] \quad (1)$$

Gdzie ω oznacza kąt godzinny, czyli odchylenie katowe wschodu lub zachodu Słońca od lokalnego południka w wyniku ruchu obrotowego Ziemi wokół swojej osi.

Kąt godzinny dla kolejnych godzin h doby słonecznej określa się zależnością:

$$\omega = 15(h - 12) [^\circ] \quad (2)$$

Kąt δ [$^\circ$] jest to deklinacja słoneczna, czyli kąt zawarty pomiędzy Słońcem a płaszczyzną równika niebieskiego. Deklinacja słoneczna jest równa zero w dniach równonocy. Wartość deklinacji w kolejnych dniach roku n jest wyznaczana z formuły Coopera:

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

Dla powierzchni poziomej, kiedy $\beta = 0$, zależność (1) upraszcza się. Wtedy kąt θ jest kątem zenitalnym θ_z (rys. 1), a równanie (1) przyjmuje postać:

$$\cos(\theta) = \cos(\theta_z) = \sin(\delta) \sin(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(\omega) \quad (4)$$

Wartość mocy promieniowania słonecznego dla jednostkowej powierzchni równoległej do powierzchni Ziemi, usytuowanej na górnej granicy atmosfery, po uwzględnieniu (4) można zapisać jako:

$$G_{on} = G_{sc} \cdot \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365}\right) \cdot (\sin(\delta) \cdot \sin(\phi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cos(\omega)) \quad (5)$$

gdzie:

G_{on} – jest gęstością strumienia promieniowania mierzonego na płaszczyźnie normalnej do kierunku promieniowania w n -tym dniu roku,

$G_{sc} = 1376 \text{ Wm}^{-2}$ jest stałą słoneczną, która jest średnią roczną gęstością strumienia energii promieniowania słonecznego docierającego do górnej granicy atmosfery.

Dokonując całkowania równania (5) dla przedziału czasu równego jednej dobie, tj. w granicach od wschodu do zachodu Słońca otrzymuje się wzór (6) na sumę dziennego promieniowania całkowitego H_0 [J/m^2] w n -tym dniu w roku dla jednostkowej powierzchni na górnej granicy atmosfery:

$$H_0 = \frac{86400}{\pi} G_{sc} \cdot \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365}\right) \cdot (\sin(\delta) \cdot \sin(\phi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi)) \quad (6)$$

$$\cdot (\omega_{wz} \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\phi) + \sin(\omega_{wz}) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\phi))$$

Gdzie ω_{wz} [rad] jest kątem godzinnym wschodu lub zachodu Słońca dla danego dnia, określanym z zależności:

$$\cos(\omega_{wz}) = -\text{tg}(\phi) \text{tg}(\delta) \quad (7)$$

WSPÓŁCZYNNIK PRZEZROCZYŚCI ATMOSFERY

Promieniowanie przechodząc przez atmosferę ulega osłabieniu w wyniku procesów rozpraszania oraz pochłaniania. Oznaczając przez H sumę dziennego promieniowania całkowitego jednostkowej powierzchni Ziemi, otrzymuje się:

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (8)$$

gdzie:

K_T współczynnik (indeks) przezroczystości atmosfery, [-],

H dobowe nasłonecznienie płaszczyzny poziomej na powierzchni Ziemi, [J/doba], zmierzone,

H_0 dobowe nasłonecznienie płaszczyzny poziomej na górnej granicy atmosfery, [J/doba].

Przy obliczeniach wykonywanych dla pełnych miesięcy posługujemy się deklinacją charakterystyczną dla danego miesiąca, określoną dla tzw. dni rekomendowanych. Są to (Duffie, Beckman 2006) kolejno 17, 47, 75, 105, 135, 162, 198, 228, 258, 288, 318 oraz 344 dzień roku. Dni rekomendowane są to dni z wartością deklinacji średnią dla danego miesiąca. Chcąc otrzymać wartości średnie miesięczne energii promieniowania, należy pomnożyć wyniki uzyskane dla dnia rekomendowanego przez liczbę dni danego miesiąca.

Do obliczeń energetycznych wymagających wiarygodnych danych klimatycznych wygodnie jest zastosować tzw. typowy rok meteorologiczny (Narowski, 2008). Został on wprowadzony w Polsce w związku z obowiązkiem sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynków i koniecznością wyznaczania rocznego zapotrzebowania budynków na ciepło do ogrzewania. Typowy rok meteorologiczny to roczny ciąg danych klimatycznych z meteorologicznej stacji pomiarowej, wybrany spośród wielolecia, albo kombinacja miesięcznych ciągów danych wybranych spośród danych wieloletnich.

Dane źródłowe typowego roku meteorologicznego zawierają informacje o pogodzie bieżącej. Brak jest niestety informacji o stopniu zachmurzenia. Stąd też należy przyjąć, iż obliczenia współczynnika

przezroczystości atmosfery przedstawione w artykule będą dotyczyć nieba zachmurzonego.

Na podstawie danych meteorologicznych w 61 stacjach pomiarowych IMGW na terenie Polski stworzone zostały ogólnodostępne pliki z typowymi latami meteorologicznymi według standardu ISO oraz statystyki miesięczne dla 12 miesięcy typowego roku meteorologicznego. Są one ogólnie dostępne na stronach internetowych Ministerstwa Infrastruktury (*Typowe lata meteorologiczne, www.mi.gov.pl*).

Do dalszych obliczeń wykorzystano dane ze stacji IMGW Lublin Radawiec, Włodawa, Kraków Balice, Kielce Suków, Tarnów, Rzeszów Jasionka, Sandomierz, Zamość, Zakopane, Kasprowy Wierch, Nowy Sącz, Krosno, Lesko, Przemyśl. Ich lokalizacje oraz zakres czasowy danych źródłowych zestawiono w tabeli 1.

Gwiazdką oznaczono stacje, dla których typowe

lata meteorologiczne opracowane zostały na podstawie niepełnych 30-letnich ciągów pomiarowych w danych źródłowych

OBLICZENIA

Dla wszystkich stacji IMGW określono deklinację słoneczną w kolejnych dniach rekomendowanych z zależności (3). Na podstawie zależności (6) obliczono wartości miesięczne H_0 . Dla posiadanych danych pomiarowych energii promieniowania całkowitego H oraz obliczonych wartości H_0 , z zależności (8) określono wartości średnie współczynnika przejrzystości atmosfery K_T dla kolejnych miesięcy w roku. Rezultaty obliczeń zawarto w tabeli 2. Numerację stacji przyjęto wg kolejności z tabeli 1.

Tabela 1. Stacje meteorologiczne i ich lokalizacja.

Lp.	Nazwa stacji	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Dane źródłowe z lat:
1	Lublin Radawiec	51°13' N	22° 24' E	1971 - 2000
2	Włodawa	51° 33' N	23° 32' E	1971 - 2000
3	Kraków Balice	50° 05' N	19° 48' E	1971 - 2000
4	Kielce Suków	50° 49' N	20° 42' E	1971 - 2000
5	*Tarnów	50° 02' N	20° 59' E	1971 - 1993
6	Rzeszów Jasionka	50° 06' N	22° 03' E	1971 - 2000
7	Sandomierz	50° 42' N	21° 43' E	1971 - 2000
8	*Zamość	50° 42' N	23° 15' E	1971 - 1999
9	Zakopane	49° 18' N	19° 58' E	1971 - 2000
10	Kasprowy Wierch	49° 14' N	19° 59' E	1971 - 2000
11	*Nowy Sącz	49° 37' N	20° 42' E	1971 - 1994, 1998 - 2000
12	*Krosno	49° 43' N	21° 46' E	1985 - 2000
13	Lesko	49° 28' N	22° 21' E	1971 - 2000
14	*Przemyśl	49° 48' N	22° 46' E	1971 - 1991

Tabela 2. Średnie miesięczne wartości współczynnika K_T dla badanych lokalizacji.

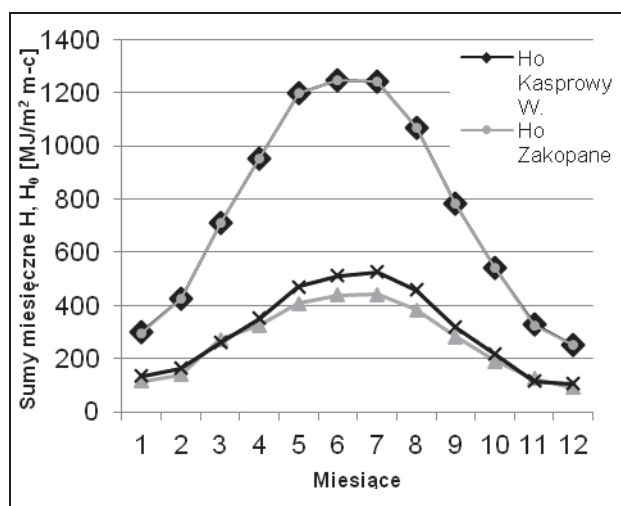
Nr stacji	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
M-c														
1	0,329	0,314	0,349	0,396	0,385	0,399	0,420	0,381	0,449	0,385	0,440	0,405	0,378	0,331
2	0,283	0,273	0,328	0,281	0,374	0,369	0,358	0,289	0,383	0,329	0,377	0,327	0,327	0,298
3	0,331	0,336	0,346	0,377	0,391	0,385	0,360	0,411	0,367	0,383	0,388	0,349	0,364	0,426
4	0,394	0,426	0,409	0,381	0,404	0,419	0,422	0,364	0,368	0,342	0,387	0,370	0,389	0,418
5	0,396	0,414	0,486	0,445	0,477	0,454	0,448	0,463	0,392	0,340	0,462	0,464	0,429	0,478
6	0,469	0,413	0,468	0,429	0,474	0,472	0,461	0,462	0,409	0,352	0,447	0,420	0,454	0,448
7	0,446	0,439	0,451	0,443	0,447	0,435	0,459	0,457	0,423	0,354	0,456	0,466	0,432	0,447
8	0,458	0,426	0,444	0,426	0,521	0,457	0,502	0,493	0,429	0,360	0,448	0,453	0,446	0,458
9	0,397	0,402	0,408	0,385	0,381	0,396	0,421	0,433	0,407	0,361	0,425	0,407	0,370	0,447
10	0,341	0,407	0,375	0,361	0,389	0,384	0,370	0,369	0,400	0,353	0,395	0,360	0,364	0,415
11	0,314	0,290	0,358	0,259	0,300	0,351	0,356	0,322	0,351	0,381	0,303	0,340	0,366	0,329
12	0,327	0,303	0,383	0,324	0,358	0,387	0,368	0,356	0,412	0,356	0,387	0,376	0,390	0,336
Śr. rok	0,374	0,370	0,400	0,376	0,408	0,409	0,412	0,400	0,399	0,358	0,410	0,395	0,392	0,403

Uzyskane wartości średnioroczne współczynnika K_T są do siebie w kilku przypadkach bardzo zbliżone lub jednakowe. Jednak wartości miesięczne różnią się.

Zmienność miesięczna tego parametru najlepiej widoczna jest na wykresie (rys. 2). Jak widać wykazuje on zmienność sezonową. Największe wartości współczynnika K_T obserwowane są w porze letniej, zaś najmniejsze, czyli z największymi wartościami zachmurzenia, zapylenia atmosfery, itp., w okresie zimowym.

Stacją o najniższych wartościach współczynnika przezroczystości atmosfery jest Kasprowy Wierch. Jest to najwyższej położona stacja spośród rozpatrywanych. Wynikać to może z faktu występowania największego zachmurzenia właśnie na obszarach górskich. w warunkach klimatu Polski najwięcej dni pochmurnych występuje bowiem w zimie (45 – 65), w lecie jest ich najmniej 15 – 30, przy czym w górach do 45.

Dodatkowo, jako efekt większego zachmurzenia, obserwuje się różnice w przebiegu zmienności H oraz H_0 dla obu wymienionych stacji (rys. 2). Przy niemal identycznych wartościach H_0 obserwuje się widoczne różnice między wartościami H dla obu stacji.



Rys. 2. Przebieg H oraz H_0 w ciągu roku dla Zakopanego i Kasprowego Wierchu

Generalnie, najwyższe wartości K_T obserwowane są w okresie wiosenno-letnim od kwietnia do września. Wartości te różnią się od podawanych w literaturze ze względu na inne warunki pogodowe, w jakich dokonywano obliczeń. Przykładowo, w pracy (Olecki, 1992), dla Krakowa podano wartość K_T od 0,59 w sierpniu do 0,64 w listopadzie, dla bezchmurnej pogody. Natomiast (Chwieduk, 2006) podaje, korzystając z danych IMGW, wartości miesięczne

indeksu K_T dla Warszawy. w ciągu roku współczynnik ten przyjmuje wartości od 0,21 dla grudnia do 0,49 dla sierpnia.

WNIOSKI

W artykule przedstawiono metodykę oraz rezultaty obliczeń wartości współczynnika przezroczystości atmosfery K_T dla stacji meteorologicznych zlokalizowanych na terenie południowo-wschodniej Polski. Do obliczeń wykorzystano dostępne dane wartości energii bezpośredniego promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą.

Uzyskane rezultaty mogą być wykorzystywane do obliczeń wartości energii promieniowania bezpośredniego i rozproszonego dla potrzeb energetyki słonecznej.

LITERATURA CYTOWANA

- Chwieduk D., 2006, *Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku*, Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Prace IPPT 11, Warszawa
- Duffie J.A., Beckman, W.A., 2006, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley, New York, 2006.
- Kaiser H., 1995, *Wykorzystanie energii słonecznej*, Wydawnictwa AGH, Kraków
- Narowski P., 2008, *Obliczenia energetyczne budynków. Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski*, Rynek Instalacyjny, Nr 10
- Olecki Z., 1992, *Przezroczystość atmosfery w Krakowskiej aglomeracji miejsko – przemysłowej*, Zesz. Nauk. UJ, nr MXLII, Prace Geogr., 90
- Pluta Z., 2000, *Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków*, <http://www.mi.gov.pl/2-48203f1e24e2f-1787735.html>