

**Fig. 2.**

The example of increasing the building density in Moscow, Profsoiozna street (architect Zelikin L.)

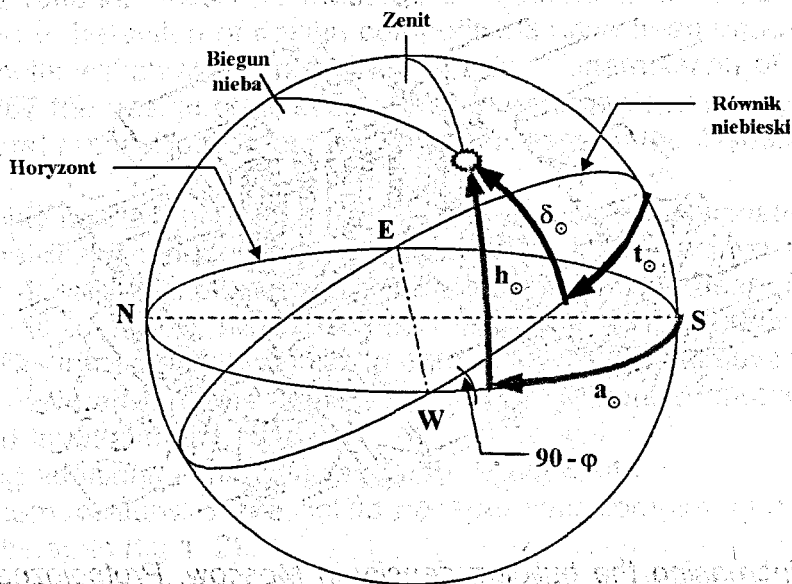
**Respondek Z., Ujma A.**

## KĄT PADANIA PROMIENI SŁONECZNYCH NA DOWOLNIE USYTUOWANĄ PŁASZCZYZNĘ PRZEJMUJĄCĄ PROMIENIOWANIE

Priorytetowym problemem, szczególnie dla krajów leżących w strefie klimatu umiarkowanego i zimnego, jest od momentu kryzysu lat 70. ubiegłego wieku, poszukiwanie sposobów oszczędzania energii i zastępowania energii otrzymywanej w sposób konwencjonalny, energią pochodzącą ze źródeł niekonwencjonalnych. Szczególnie dużą uwagę poświęca się rozwiązaniom pozwalającym na pozyskiwanie energii z promieniowania słonecznego, docierającego do powierzchni Ziemi. W tym zakresie występuje wiele rozwiązań konstrukcyjnych, pozwalających na pozyskiwanie energii promieniowania słonecznego i przetwarzania jej na energię elektryczną i ciepło, wykorzystywane m.in. do ogrzewania pomieszczeń i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ponadto, ze względu na poprawiającą się izolacyjność cieplną przegród budowlanych i radykalne ograniczenie z tego powodu strat ciepła, coraz większą rolę w bilansie ciepła pomieszczeń ogrzewanych odgrywają zyski ciepła promieniowania słonecznego. Nie mniej istotnym faktem jest wzrost oczekiwań użytkowników pomieszczeń, m.in. mieszkalnych, administracyjnych itp. w odniesieniu do komfortu wizualnego, oświetlenia pomieszczeń światłem naturalnym, tworzenia stref tzw. ogrodów zimowych. Do wszystkich tych zagadnień, wymagających na różnych etapach ich analizowania, stosowania modeli matematyczno-fizycznych wymiany energii

promieniowania słonecznego między danym układem konstrukcyjnym a otoczeniem zewnętrznym, niezbędna jest znajomość zmiennych charakterystyk tegoż promieniowania, w tym: kąta padania, natężenia (gęstości strumienia ciepła), transmisyjności i in.

Podstawą do wyznaczenia kąta padania promieni słonecznych na dowolną powierzchnię, w określonym miejscu i czasie, jest znajomość współrzędnych Słońca w lokalnym układzie horyzontalnym (rys. 1). Należy zwrócić uwagę, że w przeciwieństwie do geodezji, w obliczeniach astrometrycznych obowiązuje zasada określania azymutów i kątów godzinnych od południa. Wielkości mierzone w kierunku zachodnim oznaczają się jako dodatnie, a w kierunku wschodnim jako ujemne.



**Rys. 1.**

Położenie Słońca w lokalnym układzie horyzontalnym (azymut  $a_{\theta}$ , wysokość  $h_{\theta}$ ) i godzinny (kąt godzinny  $t_{\theta}$ , deklinacja  $\delta_{\theta}$ ).  $\varphi$  – szerokość geograficzna.

Współrzędne horyzontalne najłatwiej jest wyznaczyć na podstawie tzw. współrzędnych godzinnych tzn. w układzie mającym za podstawę równik niebieski i lokalny południk (lokalnym południkiem nazywamy południk niebieski łączący bieguny nieba poprzez zenit).

Związki między współrzędnymi w obu układach są następujące:

$$\sin(h_{\theta}) = \cos t_{\theta} \cos \delta_{\theta} + \sin \delta_{\theta} \sin \varphi \quad (1)$$

$$\cos |a_{\theta}| = \frac{\sin(h_{\theta}) \sin \varphi - \sin \delta_{\theta}}{\cos(h_{\theta}) \cos \varphi} \quad (2)$$

gdzie:  $a_{\theta}$ ,  $h_{\theta}$  – azymut i wysokość w układzie horyzontalnym,

$t_{\theta}$ ,  $\delta_{\theta}$  – kąt godzinny i deklinacja w układzie godzinnym,

$\varphi$  – szerokość geograficzna miejsca obserwacji.

Wynikowe kąty  $a_{\theta}$  należy przyjmować za dodatnie po południu (w czasie miejscowym); przed południem kąty te są ujemne.

Deklinacja jest to kątowa odległość Słońca od równika niebieskiego, zależna od pory roku. Kąt ten uważa się za dodatni, jeśli Słońce znajduje się na północ od równika (w okresie wiosenno-letnim). Dokładne wartości  $\delta_{\theta}$  przedstawiane są w tablicach astronomicznych. Do celów praktycznych wystarczające jest korzystanie z wartości przybliżonych zamieszczonych w tabeli I.

Ponieważ ruch Słońca na sferze niebieskiej jest podstawą miary czasu:  $t_{\theta} = T_{\theta} - 12^h$

gdzie:  $T_{\theta}$  – czas miejscowy prawdziwy.

Dwunastogodzinna różnica między  $t_{\theta}$  a  $T_{\theta}$  wynika z faktu, że dobę liczymy od północy, a kąm godzinny od południa. We wzorze (3) kąt  $t_{\theta}$  jest wyrażony w często używanej w astronomii mierze godzinnej, aby przejść na miarę stopniową należy zastosować przelicznik  $24^h \equiv 360^{\circ}$ ,  $1^h - 15^{\circ}$

Pewną trudność w obliczeniach może sprawić określenie miejscowego czasu prawdziwego, gdyż czas ten nie jest w zasadzie stosowany w praktyce (wyjątkiem są niektóre kraje arabskie). Jednakowy czas miejscowy mają tylko miejscowości położone na jednym południku geograficznym. Oprócz tego, eliptyczność orbity Ziemi sprawia, że jej ruch wokół Słońca odbywa się w ciągu roku z niejednakową prędkością. W wyniku czego Słońce opóźnia lub pośpiesza swój ruch na sferze niebieskiej, w stosunku do prędkości średniorocznej.

Powyższe czynniki sprawiły, że po pierwsze za podstawę miary czasu przyjęto położenie tzw. **Słońca średniego**, tzn. punktu na sferze niebieskiej, w którym znajdowałoby się Słońce, gdyby poruszało się ze stałą prędkością; po wtóre jako czasy urzędowe w większości krajów używa się czasów średnich słonecznych, dla południków, których długość geograficzna jest wielokrotnością  $15^{\circ}$  (czyli  $1^h$  w mierze godzinnej). Czas urzędowy jest więc **średnim słonecznym czasem strefowym**.

W Polsce i większości krajów środkowej i zachodniej Europy używane są dwa czasy strefowe:

- czas zimowy (listopad - marzec) - dla południka  $15^{\circ}\text{E}$  (czas środkowoeuropejski CSE),
- czas letni (kwiecień - październik) - dla południka  $30^{\circ}\text{E}$  (czas wschodnioeuropejski CWE).

**Średni czas miejscowy**  $T_{sr\theta}$  czyli średni czas słoneczny dla południka miejsca obserwacji wyznaczyć można na podstawie czasu urzędowego pamiętając, że  $1^{\circ}$  długości geograficznej odpowiada  $4^m$  czasu. Dla Częstochowy (długość geograficzna ok.  $19^{\circ}\text{E}$ ):

• dla czasu zimowego –  $T_{sr\theta} = \text{CSE} + 16^m$ , (4a)

• dla czasu letniego –  $T_{sr\theta} = \text{CWE} - 44^m$ . (4b)

Potrzebny do naszych obliczeń **prawdziwy czas miejscowy**  $T_{\theta}$  obliczamy korzystając ze wzoru:

$$T_{\theta} = T_{sr\theta} + \Delta\alpha, \quad (5)$$

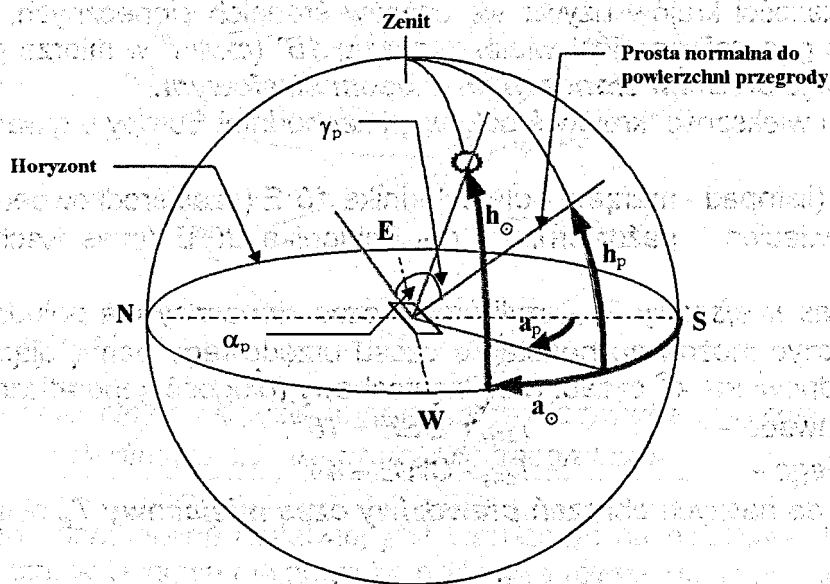
gdzie:  $\Delta\alpha$  – równanie czasu, różnica między prawdziwym a średnim czasem słonecznym wynikająca z eliptyczności orbity Ziemi, przybliżone wartości na dany dzień roku podano w tabeli 1.

Na rysunku 2. przedstawiono schemat wyznaczania kąta padania promieni słonecznych na dowolnie usytuowaną przegrodę budowlaną lub inną powierzchnię przejmującą promieniowanie  $\alpha_p$ . Zagadnienie sprowadza się do obliczenia kąta między kierunkiem do Słońca a normalną do danej powierzchni przegrody  $\gamma_p$ . Kąty  $\alpha_p$  i  $\gamma_p$  dają w sumie kąt prosty. Potrzebne współrzędne horyzontalne normalnej ( $a_p$ ,  $h_p$ ) można w prosty sposób obliczyć lub pomierzyć. Kąt  $h_p$  stanowi dopełnienie do  $90^{\circ}$  kąta nachylenia powierzchni do poziomu (dla powierzchni pionowej  $h_p = 0^{\circ}$ ), natomiast cíp sytuuje powierzchnię względem stron świata.

**Tabela 1.**

*Przybliżone wartości deklinacji Słońca i równania czasu, na podstawie [1]*

Dzień roku	Deklinacja deg	Równanie czasu Δ, min	Dzień roku	Deklinacja deg	Równanie czasu Δ, min	Dzień roku	Deklinacja deg	Równanie czasu Δ, min
1 stycznia	-23,0	-3,7	1 maj	13,2	2,9	1 wrzesień	8,1	0,1
10 stycznia	-21,9	-7,7	10 maj	17,7	3,6	10 wrzesień	4,5	3,1
20 stycznia	-20,0	-11,1	20 maj	20,1	3,5	20 wrzesień	0,9	6,6
1 Kuty	-17,0	-13,7	1 czerwiec	22,1	2,2	1 październik	-3,3	10,4
10 luty	-14,2	-14,3	10 czerwiec	23,1	-0,6	10 październik	-7,0	13,0
20 luty	-10,8	-13,5	20 czerwiec	21,4	-1,5	20 październik	-10,5	15,2
1 lutego	-7,4	-12,4	1 lipiec	23,1	-3,8	1 listopad	-14,6	16,4
10 marzec	-4,0	-10,3	10 lipiec	22,2	-5,3	10 listopad	-17,3	16,0
20 marzec	0,0	-7,5	20 lipiec	20,6	-6,3	20 listopad	-19,8	14,3
1 kwiecień	4,7	-3,8	1 sierpień	17,9	-6,3	1 grudzień	-21,9	10,9
10 kwiecień	8,1	-1,3	10 sierpień	15,5	-5,3	10 grudzień	-23,0	7,1
20 kwiecień	11,7	1,1	20 sierpień	12,3	-3,3	20 grudzień	-23,4	2,3



**Rys. 2.**

Schemat wyznaczania kąta padania promieni słonecznych na dowolnie usytuowaną powierzchnię przegrody budowlanej.

Z zależności trygonometrycznych otrzymujemy:

$$\cos p = \sin \gamma_p = \cos(h_\theta - h_p) + \cos(h_\theta) \cos(h_p) [\cos(a_\theta - a_p) - 1] \quad (6)$$

Najważniejszym zastosowaniem praktycznym wielkości  $p$  są obliczenia gęstości strumienia energii promieniowania docierającego do powierzchni przejmującej promieniowanie, przy bezchmurnym niebie  $I_b$ :

$$I_b = I_{Nd} t_a \sin p \quad (7)$$

gdzie:  $t_a$  – współczynnik transmisyjności atmosfery,

$I_{Nd}$  – gęstość strumienia energii promieniowania docierającego do granic atmosfery ziemskiej, na powierzchnię normalną do kierunku padania, tzw. stałą słoneczną, wartość średnioroczna  $I_{N0} = 1353 \text{ W/m}^2$ .

Transmisyjność atmosfery silnie zależy od wysokości horyzontalnej Słońca. Wynika to z faktu, że promieniowanie wchodzące w atmosferę pod kątem ma do pokonania dłuższą drogę, niż gdy Słońce świeci w zenicie. Miarą długości tej drogi jest bezwymiarowa wielkość zwana masą optyczną atmosfery.

Metodykę dokładniejszego obliczania transmisyjności atmosfery zawiera opracowanie [2]. Wartość ta jest przedstawiona jako iloczyn transmisyjności atmosfery idealnej (Rayleigha) oraz współczynników poprawkowych uwzględniających wpływ obecności w atmosferze rzeczywistej ozonu, pary wodnej i aerozoli. W tabeli 2 zestawiono obliczenia masy optycznej i  $t_a$  dla atmosfery idealnej.

**Tabela 2.**

*Wartości transmisyjności atmosfery idealnej  
przy ciśnieniu atmosferycznym 1013 HPa wg [2].*

Wysokość Słońca	Masa optyczna	Transm. atmosfery	Wysokość Słońca	Masa optyczna	Transm. atmosfery
90°	1,000	0,914	40°	1,553	0,878
80°	1,015	0,913	30°	1,993	0,853
70°	1,063	0,909	20°	2,900	0,807
60°	1,154	0,903	10°	5,580	0,705
50°	1,304	0,894	5°	10,323	0,616

Oczywiście transmisyjność atmosfery rzeczywistej jest mniejsza. W opracowaniu [3] podana została wartość otrzymana w wyniku badań periheliometrycznych:  $I_b = 1,4 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \text{ min}) = 997,0 \text{ W}/\text{m}^2$ , dla powierzchni prostopadłej do kierunku padania, na poziomie morza, co daje współczynnik transmisyjności 0,73.

### LITERATURA

1. Mietelski J.: *Astronomia w geografii*. PWN, Warszawa 1979.
2. *A Building and Its Physical Environment*. Praca zbiorowa pod red. L. Sliwowskiego. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1992.
3. Rybka E.: *Astronomia ogólna*. PWN, Warszawa 1983.

**Ujma Adam**

## EFEKTYWNOŚĆ CIEPLNA PRZEGRÓD Z IZOLACJĄ TRANSPARENTNĄ

Promieniowanie całkowite, jakie dociera do danego punktu Ziemi, jest sumą promieniowania bezpośredniego i rozproszonego, które z kolei zależą od czynników miejscowych, takich jak szerokość geograficzna, klimat lokalny, zanieczyszczenie atmosfery.

Czas nasłonecznienia, a więc suma energii promieniowania słonecznego jaką dysponujemy, uzależniony jest od pory roku i położenia geograficznego. Tak więc, roczna suma energii całkowitego promieniowania słonecznego dla obszarów, najkorzystniej położonych wynosi około  $2560 \text{ kWh}/\text{m}^2$ , dla Polski zaś zawiera się w granicach od  $950$  do  $1250 \text{ kWh}/\text{m}^2$  w ciągu całego roku. Odpowiada to spaleniu, ze sprawnością 100%, około 120 kg paliwa umownego. Te znaczące strumienie energii w znikomym stopniu są wykorzystywane do poprawy bilansu energetycznego Polski, poprzez zastępowanie energii otrzymywanej z paliw, a przy tym i do poprawy stanu zanieczyszczenia środowiska produktami spalania tychże paliw. Na terenie Polski położonej między 49 a 54,5 szerokości geograficznej północnej, natężenie promieniowania, kąt padania promieni słonecznych i liczba godzin słonecznych są różne w skali roku. Pomiarów parametrów promieniowania słonecznego prowadzone przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w latach