

O TERMINOLOGII DOTYCZĄCEJ PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

D. Matuszko

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

STRESZCZENIE

W opracowaniu rozważano poprawność terminologii z zakresu promieniowania słonecznego stosowaną w pracach klimatologicznych. Zwrócono uwagę na zastrzeżenia, jakie budzą definicje dwóch podstawowych wielkości charakteryzujących promieniowanie mierzone na naziemnych stacjach meteorologicznych, mianowicie usłonecznienia i całkowitego promieniowania słonecznego. Wskazano niektóre przyczyny nieścisłości językowych i przedstawiono propozycje nowych terminów.

WSTĘP

Niepokojącym symptodem we współczesnej literaturze naukowej jest wprowadzanie dowolnej terminologii, co powoduje, że w publikacjach używane są pojęcia, które przez różnych autorów rozumiane są w wieloraki sposób. Zjawisko to dotyczy przede wszystkim nauk interdyscyplinarnych. Terminologia z zakresu promieniowania pochodzi z wielu dyscyplin i często te same terminy oznaczają co innego u różnych autorów (Madany 1996). Warto zaznaczyć, że nazewnictwo używane przez klimatologów nie zawsze jest precyzyjne i zgodne z terminologią stosowaną przez naukowców z innych dziedzin, np. fizyki czy techniki. W energetyce słonecznej, z uwagi na inną grupę odbiorców informacji dotyczących promieniowania słonecznego, stosowane są nieco odmienne niż w klimatologii definicje i pojęcia. Ponadto wiele terminów z zakresu promieniowania tłumaczonych jest wprost z języka angielskiego, co nie zawsze oddaje właściwy sens wyrażenia po polsku.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie wątpliwości terminologicznych dotyczących promieniowania słonecznego, z punktu widzenia klimatologa. Praca ta stanowi przyczynek do tego, by język publikacji naukowych był prosty, komunikatywny, precyzyjny, czyli jednakowo rozumiany przez wszystkich.

ENERGIA SŁONECZNA

Według D. Chwieduk (2004) norma PN-EN ISO 9488 „Energia słoneczna. Terminologia”, ustanowiona przez Polski Komitet Normalizacyjny, powinna mieć fundamentalne znaczenie w unormowaniu krajowego nazewnictwa z tej dziedziny. Również w zaleceniach International Solar Energy Society (2002) można znaleźć obowiązującą nomenklaturę, która dotyczy energetyki słonecznej.

Wątpliwości naukowców budzi już sam termin „energia solarna”, który zdaniem D. Chwieduk (2004)

jest nieprawidłowy i powinien być zastąpiony pojęciem „energia słoneczna”. Zatem, warto zastanowić się czy przymiotnik „solarny” w odniesieniu do klimatu, właściwości, cech itp. jest odpowiedni, czy może lepiej stosować słowo „słoneczny”, bądź „radiacyjny”, choć ten ostatni termin oznacza promieniowanie w ogóle, a nie tylko słoneczne. W *Słowniku meteorologicznym* (2003) używane jest pojęcie „energia słoneczna”, ale istnieje definicja klimatu radiacyjnego, którego synonimem jest klimat solarny. Znamienny jest fakt, że *Słownik języka polskiego* (1988) nie zawiera pojęcia „solarny”, a jedynym wyrazem o przedrostku solar- jest solarium.

USŁONECZNIE

Podstawową wielkością charakteryzującą promieniowanie słoneczne, która najwcześniej była mierzona na świecie (w Krakowie od 1883 roku) na naziemnych stacjach meteorologicznych jest usłonecznienie. Do rejestracji czasu trwania usłonecznienia służy heliograf (rys. 1). Zasadniczą częścią tego przyrządu jest szklana kula, która skupia promienie słoneczne na umieszczonej w odległości ogniskowej odpowiednio wyskalowanym kartonowym pasku. Jeśli świeci Słońce, a tarcza słoneczna nie jest zasłonięta przez chmury, na pasku wypalany jest ślad.



Rys. 1. Heliograf Campbella-Stokesa

Jednak definicja usłonecznienia powszechnie stosowana w polskiej literaturze klimatologicznej (m.in. Kossowska-Cezak i in. 2000, Kożuchowski 2005, Woś 1996) budzi wątpliwości. Według wymienionych autorów oraz *Słownika meteorologicznego* (2003), usłonecznienie rzeczywiście to liczba godzin, podczas których tarcza słoneczna nie jest zasłonięta przez chmury, czyli czas występowania promieniowania bezpośredniego; do pomiaru usłonecznienia służy heliograf.

Należy jednak zauważyć: że: 1) w przypadku występowania chmur wysokich tarcza słoneczna może być zasłonięta tymi chmurami, a heliograf rejestruje usłonecznienie, 2) promieniowanie słoneczne przechodząc przez chmurę krystaliczną (np. *Cirrus*) może być częściowo rozproszone, a więc do heliografu dochodzi suma promieniowania bezpośredniego i rozproszonego, czyli całkowite promieniowanie słoneczne.

Z klimatologicznego punktu widzenia dyskusyjna jest również definicja usłonecznienia podawana przez D. Chwieduk (2006): *czas trwania operacji słonecznej z widoczną tarczą słoneczną (wyrażony liczbą godzin słonecznych)*. Definicja ta ma pewne uzasadnienie w energetyce słonecznej, bowiem istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych instalacji słonecznych z tzw. obrazowymi kolektorami skupiającymi. W kolektorach tych, w ognisku układu optycznego powstaje obraz Słońca. Wartość usłonecznienia mierzona heliografem pozwala na intuicyjne oszacowanie liczby godzin, w których słoneczne instalacje energetyczne mogą pracować.

Według K. Rózdzyńskiego (1996) określenie *usłonecznienie* jest *pojęciem subiektywnym i dotyczy względnej jasności tarczy słonecznej na otaczającym tle, jakim jest rozproszone światło nieboskłonu. Jako takie jest ono zatem bardziej odnoszone do promieniowania widzialnego niż do energii promieniowanej na innych długościach fal*. Uzupełnieniem tej definicji jest pojęcie *usłonecznienia* cytowane w instrukcji IMGW (Rózdzyński, 1996) według zalecenia komisji CIMO (*Commission for Instruments and Methods of Observation*) Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO): *stosownie do definicji użytecznej dla celów meteorologicznych usłonecznienie określane jest od wielu lat za pośrednictwem standardowego heliografu Campbella-Stokesa, który w 1964 r. został przez WMO przyjęty jako „tymczasowy wzorcowy rejestrator usłonecznienia” – IRSR (Interim Reference Sunshine Recorder), z założeniem, że wszystkie opublikowane w świecie dane dotyczące usłonecznienia zostaną sprowadzone do wzorca IRSR. Charakterystyka techniczna tego wzorca jest ściśle zdefiniowana, a ważną właściwością przyrządów do pomiaru usłonecznienia jest ich próg zadziałania*.

W tym aspekcie niezwykle ważnym problemem jest wartość progowa, od której liczy się usłonecznienie ze względu na wprowadzenie w ostatnich latach czujników elektronicznych do pomiaru liczby godzin ze słońcem. Według nowej terminologii (Podogrocki, Żółtowska 2008) *usłonecznienie* rozumiane jest *jako przedział czasu, w którym do powierzchni Ziemi dociera bezpośrednio promieniowanie słoneczne powyżej przyjętego progu 120 W·m⁻²*.

Duże wątpliwości budzi zatem podawana przez różnych autorów wartość progowa heliografu, która ma wpływ na wielkość mierzonego usłonecznienia. Kątowo wartość progową heliografu szacuje się od 3 do 5° wysokości Słońca nad horyzontem. Zdaniem M. Kuczmarzkiego (1990) heliografy Campbella-Stokesa rozpoczynają notowanie usłonecznienia

dopiero od momentu, w którym natężenie promieniowania słonecznego przekracza lub jest równe 279,2 W·m⁻², a we wcześniejszych pracach (np. Słomka 1957, Zinkiewicz 1962) podawano wartość 0,3–0,4 cal·cm⁻²·min⁻¹ (1 cal·cm⁻²·min⁻¹ = 697,8 W·m⁻² (Hess, Olecki, 1990). Obecnie na stacjach meteorologicznych jako wartość progową heliografu uznaje się 120 W·m⁻² (Rózdzyński, 1996), lecz dotyczy ona elektronicznych rejestratorów usłonecznienia. Co ciekawe, w *Słowniku meteorologicznym* (2003), jako wartość progową heliografu podano 20 W·m⁻². W praktyce wartość progowa heliografu jest trudna do dokładnego zmierzenia, ponieważ wypalenie śladu na pasku heliografu zależy nie tylko od natężenia promieniowania słonecznego, ale także od grubości, wilgotności i koloru paska.

Rejestratory elektroniczne, ze względu na większą czułość przyrządu (niższą wartość progową), wykazują w ciągu dnia znacznie większą liczbę godzin ze słońcem od pomiaru heliografem Campbella-Stokesa. W dniach z dużym zachmurzeniem, nawet krótkotrwałe odsłonięcie tarczy słonecznej rejestrowane jest przez czujnik elektroniczny. Zdarza się tak nawet przy całkowitym pokryciu nieba chmurami odmiany *translucidus*. Z tego powodu do analizy zmienności wieloletniego przebiegu usłonecznienia należy podchodzić z dużą ostrożnością, gdy wykorzystywane są wyniki z tych dwóch przyrządów. Przyczyną wzrostu usłonecznienia w ostatnich latach może być bowiem zmiana przyrządu pomiarowego, a nie tylko obiektywne czynniki naturalne.

Powyzsze definicje usłonecznienia budzą wątpliwości, dlatego proponuję, aby definiować *usłonecznienie rzeczywiste jako czas wyrażony w godzinach lub minutach, w których rejestrowany jest przez heliograf (lub czujnik elektroniczny) dopływ promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Ziemi*. Koniecznie należy podać, jakim przyrządem mierzone jest usłonecznienie, bo otrzymana wartość zależy od progów czułości rejestratora i brak takiej informacji może prowadzić do błędnej interpretacji wyników.

Usłonecznienie względne to *stosunek usłonecznienia rzeczywistego do usłonecznienia możliwego i wyrażone jest w procentach*. Usłonecznienie możliwe może być obliczane trzema różnymi sposobami (Chomicz, Kuczmarzka, 1971):

- 1) jako długość dnia od wschodu do zachodu Słońca. Ten sposób obliczania usłonecznienia względnego zaleciła WMO w 1953 r. (Sivkov, 1964), a astronomiczna długość dnia wyznaczana jest na podstawie tablic słonecznych, bez uwzględniania poprawki heliograficznej (Słomka 1957);
- 2) jako odstęp czasu pomiędzy rzeczywistym wschodem i zachodem Słońca w danym punkcie, a więc z uwzględnieniem zakrycia horyzontu;
- 3) jako odstęp czasu pomiędzy momentami początku i końca rejestracji heliograficznej w dni pogodne (bezchmurne).

Wartości usłonecznienia możliwego wyznaczone wymienionymi metodami są różne. Aby wyniki były porównywalne (szczególnie w stosunku do prac wcześniejszych) należy zawsze podawać, który sposób obliczania był stosowany.

W niektórych opracowaniach usłonecznienie błędnie nazywane jest nasłonecznieniem (m.in. Molga 1980), choć oznacza zupełnie inną wielkość. W klimatologii pod pojęciem *nasłonecznienia* (*insolacja*) rozumiana jest:

1) ilość bezpośredniego promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię poziomą (I'): $I' = I \sin h_s$; gdzie I – strumień promieniowania bezpośredniego na powierzchnię prostopadłą do promieni, h_s – wysokość Słońca.

2) ilość dopływającego promieniowania całkowitego na dowolnie nachyloną powierzchnię, np. stoków, ścian (Słownik Meteorologiczny 2003).

W klimatologii to drugie znaczenie terminu *nasłonecznienie* jest bardziej rozpowszechnione.

Należy zauważyć, że zgodnie z terminologią zawartą w *Słowniku Meteorologicznym* (2003) nasłonecznienie nie jest synonimem napromieniowania (irradiacji), ponieważ to pojęcie oznacza *natężenie promieniowania, strumień promieniowania padający na jednostkę powierzchni prostopadłej do kierunku promieni*. A. Kędziora (1995) definiuje napromieniowanie jako *stosunek strumienia promienistego (mocy promienistej) do wielkości powierzchni, na którą pada* ($W \cdot m^{-2}$). Według D. Chwieduk (2006, 2008), napromieniowanie jest to *gęstość energii promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi (na płaszczyznę poziomą)*. Dla napromieniowania słonecznego autorka stosuje różne jednostki w obydwu opracowaniach, w pracy z 2006 roku wartości roczne napromieniowania wyrażone są w $kWhm^{-2}$, natomiast z 2008 w MJm^{-2} .

Można sądzić, że w literaturze klimatologicznej wielkość ta oznacza sumę roczną promieniowania całkowitego i podawana jest w MJm^{-2} (Bogdańska, Podgrocki 2000).

NATĘŻENIE CAŁKOWITEGO PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Drugą podstawową wielkością uwzględnianą w wielu pracach klimatologicznych jest całkowite promieniowanie słoneczne, którego natężenie definiowane jest w wieloraki sposób przez różnych autorów. W zależności od spojrzenia na mierzoną wielkość definicje brzmią odmiennie i nie wszystkie są równoznaczne, ponieważ natężenie promieniowania może dotyczyć różnych pomiarów (ze źródła punktowego, powierzchniowego, z uwzględnieniem rozkładu kąтового energii).

Według *Słownika meteorologicznego* (2003), *natężenie promieniowania, to inaczej intensywność promieniowania, czyli strumień promieniowania Słońca wewnątrz jednostkowego kąta bryłowego* ($W \cdot m^{-2}$). Podana na końcu jednostka jest sprzeczna z definicją, gdyż dotyczy ilości energii padającej lub wyemitowanej przez powierzchnię (źródło

powierzchniowe), a definicja uwzględnia rozkład kątowy strumienia promieniowania. Definicja jest tak sformułowana, że nie wiadomo, czy dotyczy powierzchniowego czy punktowego źródła energii, zatem czy wartość ta powinna być wyrażona w $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$, czy $W \cdot sr^{-1}$.

A. Podstawczyńska (2007) rozumie pojęcie natężenia promieniowania jako *wielkość strumienia energii, czyli ilość energii otrzymywaną przez jednostkę powierzchni w jednostce czasu*. Zgodnie z polską normą PN-EN ISO 9488 (Chwieduk, 2004) *natężenie promieniowania to gęstość mocy promieniowania padającego na powierzchnię, tj. iloraz strumienia promieniowania padającego na powierzchnię i pola tej powierzchni lub ilość w jednostce czasu energii promieniowania padającego na jednostkowe pole tej powierzchni* ($W \cdot m^{-2}$). Obie definicje są równoznaczne, poprawne i uwzględniają powierzchniowe źródło promieniowania.

Warto zaznaczyć, że inaczej brzmi i co innego znaczy pojęcie natężenia promieniowania, gdy mamy do czynienia ze źródłem punktowym promieniowania i mierzymy rozkład kątowy tej energii. Jednak w aspekcie energetyki słonecznej ważną informacją jest ilość energii docierającej i odbieranej przez powierzchnię pochłaniającą (absorber) instalacji, nie ma zaś znaczenia, czy promieniowanie pochodzi ze źródła punktowego, czy powierzchniowego.

Często wskazówką do prawidłowego zdefiniowania danego pojęcia może być jednostka, w jakiej wyrażona jest dana wielkość. Jednak nie zawsze jest ona podawana w publikacji, bądź stosowane są różne wzory, z których nie zawsze jednoznacznie wynika czy mamy np. do czynienia z natężeniem czy sumą promieniowania. Przykładem mogą być wzory (m.in. Ångström 1924, Black 1956, Berljand 1961 i inne) ukazujące związek promieniowania całkowitego z usłonecznieniem względnym w opisie, których najczęściej znajduje się tylko *promieniowanie całkowite* bez dodania czy jest to natężenie czy suma. W literaturze klimatologicznej rozróżnia się natężenie (sumę w ciągu sekundy) od sumy promieniowania (suma w ciągu godziny, dnia, miesiąca, roku), jednak z fizycznego punktu widzenia natężenie (wyrażone w jednostkach $W \cdot m^{-2} = J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) to suma energii, jaką otrzymuje metr kwadratowy w ciągu jednej sekundy, natomiast sumy promieniowania (wyrażone np. w $MJ \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$) to też suma energii, lecz w ciągu dłuższego czasu (np. roku). Brak szczegółowej informacji wynika często z niedokładnego tłumaczenia literatury zagranicznej na język polski.

Zatem proponuję, aby całkowite promieniowanie słoneczne rozumieć, jako *sumę bezpośredniego i rozproszonego promieniowania słonecznego mierzonego na powierzchni poziomej, którego natężenie określane jest jako średni strumień energii na jednostkę powierzchni horyzontalnej w jednostce czasu* ($W \cdot m^{-2}$).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Niniejsze opracowanie nie wyczerpuje zagadnień związanych z terminologią w zakresie promieniowania

słonecznego. Ma ono na celu wskazanie wybranych nieścisłości i uporządkowanie pewnych pojęć i kryteriów. Stanowi ponadto głos w dyskusji na temat języka prac naukowych w dziedzinie stosunków radiacyjnych. Powyższe rozważania skłaniają również do sformułowania kilku wniosków metodycznych:

1. Stosowanie w pracy naukowej terminów, bądź kryteriów innych niż powszechnie przyjęte w literaturze, wymaga zawsze wyjaśnienia we wstępie pracy.
2. Rozwój nowych technik pomiarowych i badawczych narzuca konieczność dopasowania nazewnictwa do istniejącej terminologii, bądź modyfikacji używanych pojęć, które np. z powodu zmiany przyrządów przestały być aktualne.
3. Zaproponowano nową definicję *usłonecznienia rzeczywistego - czas wyrażony w godzinach lub minutach, w których rejestrowany jest przez heliograf (lub inny rejestrator o odpowiednio dobranym progu czułości) dopływ promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Ziemi.*

LITERATURA CYTOWANA:

- Ångström A., 1924, *Solar and terrestrial radiation*, Quart. J. R. Met. Soc., 50, pp.121–126.
- Berljand T. G., 1961, *Raspriedelenie solniecznoj radiacji na kontinentach*, Gidrometeoizdat, Leningrad.
- Black J.N., 1956, *The distribution of solar radiation over the Earth's surface*, Theor. Appl. Climat., 7, 2, pp. 165–189.
- Bogdańska B., Podogrocki J., 2000, *Zmienność całkowitego promieniowania słonecznego na obszarze Polski w okresie 1961–1995*, Mat. Badawcze, Meteorologia, 30, IMGW, Warszawa.
- Chomicz K., Kuczmarzka L., 1971, *Zachmurzenie i usłonecznienie w Polsce*, Przegl. Geofiz. 1/2, pp. 69–89.
- Chwieduk D., 2004, *Energia Słoneczna, Terminologia I*, Polska Energetyka Słoneczna, 1, pp. 29.
- Chwieduk D., 2006, *Możliwości wykorzystania energii promieniowania słonecznego w budownictwie w Polsce*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, 229, 40, pp. 75-84, Pierwsza Międzynarodowa Konferencja Energii Słonecznej i Budownictwa Ekologicznego, Energia Odnawialna, Innowacyjne idee i technologie dla budownictwa, Solina 2006, Rzeszów-Polańczyk 17-20 maja 2006, Polskie Towarzystwo Energetyki Słonecznej PTES-ISES, Zakład Problemów Eko-Budownictwa, IPTT PAN.
- Chwieduk D., 2008, *Dostępność promieniowania słonecznego do obudowy budynku zlokalizowanego w Polsce centralnej*, Polska Energetyka Słoneczna, 1-4, pp. 46-56.
- Hess M., Olecki Z., 1990, *Wpływ zanieczyszczenia powietrza na stosunki radiacyjne w Krakowie*, Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., 77, pp. 29–43.
- International Solar Energy Society, 2002, *Units and Symbols in Solar Energy*, 73, 1, pp.III-V.
- Kędziora A., 1995, *Podstawy agrometeorologii*, Państw. Wyd. Roln. i Leśne.
- Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M., 2000, *Meteorologia i klimatologia. Pomiar obserwacje, opracowania*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa-Łódź.
- Kożuchowski K. (red.), 2005, *Meteorologia i klimatologia*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Kuczmarzka M., 1990, *Usłonecznienie Polski i jego przydatność dla helioterapii*, Dok. Geogr., 4.
- Madany A., 1996, *Fizyka atmosfery, wybrane zagadnienia*, Ofic. Wyd. Politechn. Warszawskiej.
- Molga M., 1987, *Meteorologia rolnicza*, PWRiL, Warszawa.
- Podogrocki J., Żółtowska K., 2008, *Promieniowanie słoneczne*, WWW. ekologia.pl
- Podstawczyńska A., 2007, *Cechy solarne klimatu Łodzi*, Acta Geogr. Lodziensia, Folia Geogr. Phys.
- Rózdziński K., 1996, *Miernictwo meteorologiczne*, 2, IMGW, Warszawa.
- Sivkov S.I., 1964, *O vyčislenii vozmożnoj i otnositel'noj prodolżitel'nosti solnečnogo sijanija*, Trudy GGO, 160, pp. 32–38.
- Słomka J., 1957, *Usłonecznienie we Wrocławiu*, Pr. Wrocław. Tow. Nauk., ser. B, 79.
- Słownik języka polskiego*, 1988, PWN, Warszawa.
- Słownik meteorologiczny*, 2003, T. Niedźwiedz (red.), PTGeofiz., IMGW, Warszawa.
- Stenz E., 1952, *Zachmurzenie Polski*, Przegl. Meteorol. i Hydrol., 1–2, pp. 69–81.
- Woś A., 1996, *Meteorologia dla geografów*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa-Łódź.
- Zinkiewicz W., 1962, *Usłonecznienie względne Polski*, Annales UMCS, sec. B., vol. XVII, 10, pp.241-275.