

Pomiary promieniowania słonecznego

Krzysztof Markowicz

Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Czas trwania: 20 minut

Czas obserwacji: dowolny

Wymagane warunki meteorologiczne: dowolne (preferowane warunki słoneczne)

Częstotliwość wykonania: razy w ciągu dnia

Poziom szkoły: podstawowa, gimnazjum, liceum

Materiały i przyrządy: luksomierz

1. Wstęp

Promieniowanie słoneczne jest największym źródłem energii na Ziemi. Potencjał energetyczny Słońca jest olbrzymi: całoroczne światowe zapotrzebowanie na energię mogłoby zostać pokryte przez energię promieniowania słonecznego, docierającą do powierzchni Ziemi w ciągu zaledwie jednej godziny. Niestety, problemem pozostaje pozyskiwanie tej energii oraz akumulacja ogromnych zasobów. Na każdy metry kwadratowy powierzchni ustawionej prostopadle do promieni słonecznych poza atmosferą pada promieniowanie o mocy około 1378 W/m^2 . Wielkość ta zwana jest stałą słoneczną. Nazwa jest myląca gdyż stała słoneczna zmienia się w ciągu roku w zakresie $\pm 3.3\%$. Jest to związane ze zmiennością odległości Ziemia-Słońce wywołaną ruchem orbitalnym Ziemi wokół Słońca. Promieniowanie słoneczne emitowane jest w szerokim zakresie widmowym od dalekiego ultrafioletu przez zakres widzialny po podczerwień. Najwięcej promieniowania przypada na zakres widzialny i podczerwień. Maksimum energii wysyłanej przez Słońce dociera do Ziemi dla fali o długości około $0,55 \mu\text{m}$, która odpowiada barwie umiejscowionej pomiędzy kolorem żółtym a zielonym.

Promieniowania słoneczne wędrując w atmosferze jest stopniowo pochłaniane oraz rozpraszane. Proces rozpraszania polega na zmianie kierunku poruszania promieni, które pierwotnie są równoległe a po rozproszeniu poruszają się we wszystkich kierunkach. Gdyby atmosfera nie rozpraszała promieniowania wówczas nieboskłon byłby czarny a widoczne byłoby jedynie punktowe źródło

promieniowania tak jak to ma miejsce w kosmosie. Na skutek rozpraszania nieboskłon przybiera różne barwy od błękitnego po biały w zależności od warunków meteorologicznych. Zarówno procesy rozpraszania światła jak i jego pochłaniania w atmosferze prowadzą do redukcji ilości energii docierającej od Słońca do powierzchni ziemi. W Polsce moc promieniowania docierająca do płaskiej powierzchni w pogodny letni dzień rzadko, kiedy przekracza 1000 W/m^2 chociaż zdarza się obserwować wartości zbliżone do stałej słonecznej. Wielkość ta zależy w pierwszym rzędzie od masy optycznej atmosfery związanej z kątem elewacyjnym Słońca. Im wyżej nad horyzontem znajduje się Słońce tym większa jest ilość energii docierająca do płaskiej powierzchni ziemi. Podobnie rzecz się ma z wysokością nad poziom morza, im wyżej tym ilość energii promieniowania słonecznego jest większa. Duży wpływ na ilość energii promieniowania słonecznego mają warunki meteorologiczne. Najważniejszym parametrem jest zachmurzenie zarówno, jeśli chodzi o stopień pokrycia chmurami jak ich rodzaj. Chmury niskie na ogół znacznie silnie redukują promieniowanie słoneczne dochodzące do powierzchni ziemi niż chmury wysokie. W związku z tym nie tylko stopień zachmurzenia ma znaczenie, ale ich rodzaj. Podczas pełnego zachmurzenia ilość energii promieniowania słonecznego docierająca do gruntu obniża się średnio 5-10 razy w stosunku do bezchmurnych warunków. Poza zachmurzeniem istotne znaczenie ma również zawartość zawartości pary wodnej w atmosferze oraz stopień zanieczyszczenia powietrza. Zarówno para wodna jak i zanieczyszczenia redukują promieniowania słoneczne. Skrajnym przypadkiem są warunki solarne podczas smogu fotochemicznego, kiedy to redukcja promieniowania przez zanieczyszczenia powietrza, jest tak duża jak w przypadku pokrycia chmurami wysokiego czy średniego piętra.

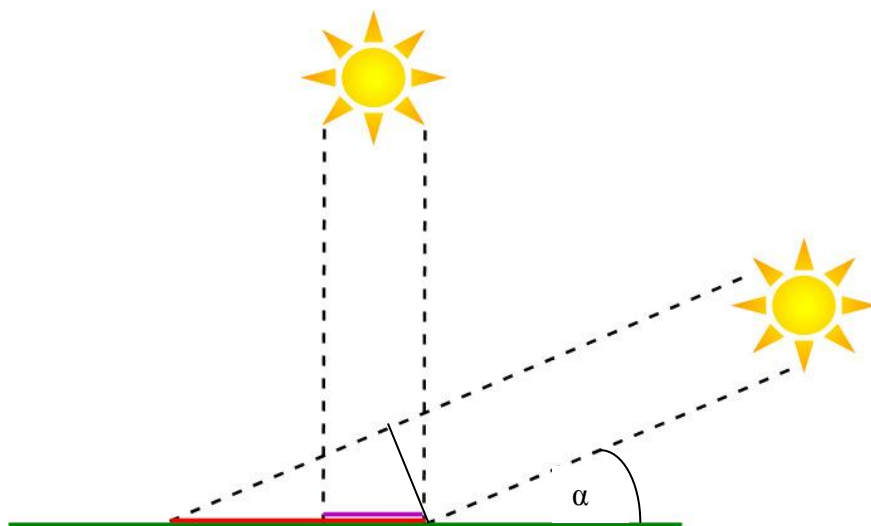
W promieniowaniu słonecznym docierającym do powierzchni ziemi wyróżnia się składową bezpośrednią F_b , rozproszoną F_r . Promieniowanie bezpośrednie to część promieniowania słonecznego, która dociera do obserwatora z obszaru tarczy słonecznej. W głównej mierze jest to część promieniowania, która przeszła przez atmosferę bez oddziaływania z jej składnikami. Promieniowanie rozproszone to część promieniowania, która zmieniła kierunek wskutek oddziaływania z molekułami powietrza, aerozolami oraz chmurami. Promieniowanie bezpośrednie mierzone jest na ogół na powierzchnię prostopadłą do padania promieni słonecznych. Na ogół jednak interesuje nas natężenie (moc) promieniowania na powierzchnię poziomą F_{bpoz} (rys. 1). Zauważmy, że w tym przypadku promienie

słoneczne padają na większą powierzchnię co zmniejsza natężenie promieniowania. Z prostej zależności geometrycznej wynika, że promieniowanie bezpośrednie mierzone na powierzchni poziomej dane jest wzorem

$$F_{\text{bpoz}} = F_b \sin \alpha \quad (1)$$

gdzie α jest kątem elewacyjnym słońca. Jeśli teraz dodamy do tak wyznaczonego promieniowania bezpośredniego część rozproszoną uzyskamy tzw. natężenie całkowite promieniowania słonecznego F_c

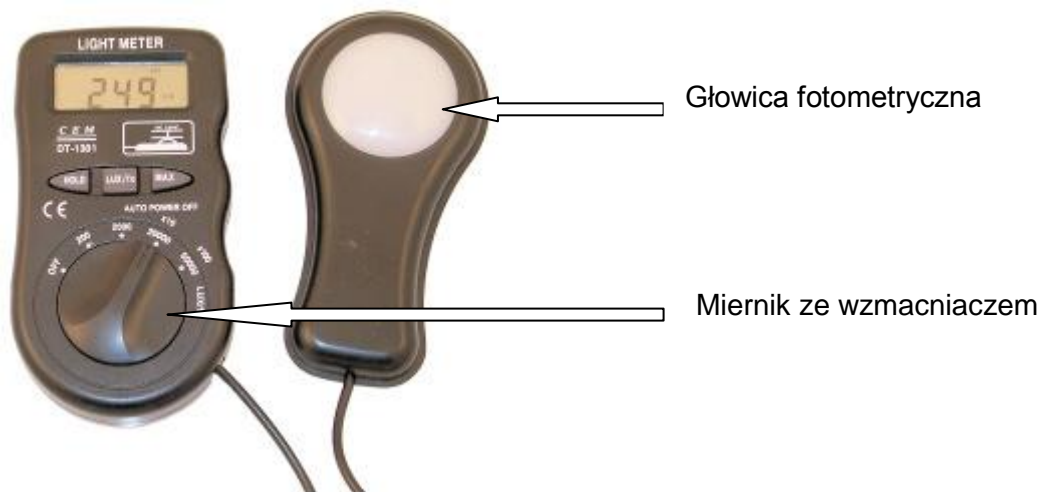
$$F_c = F_{\text{bpoz}} + F_r \quad (2)$$



Rys. 1 Promieniowanie bezpośrednie padające na powierzchnie poziomą.

2. Przyrządy pomiarowe

Do pomiaru promieniowania słonecznego będziemy używać luksomierza. Jest to przyrząd zaprojektowany do pomiaru natężenia oświetlenia. Jednostką natężenia oświetlenia w układzie SI jest Luks (lx). Luksomierz wykonuje pomiar natężenia oświetlenia w zakresie spektralnym zbliżonym do naszych oczu. Natężenie oświetlenia w pomieszczeniach zamkniętych wynosi od stu do kilkuset luksów, podczas gdy natężenie oświetlenia przez tarczę słoneczną może sięgać nawet 100 tys. lx.



Rys. 2 Luksomierz DT-1301

Luksomierz typu DT-1301 wyposażony jest w głowicę fotometryczną połączoną z miernikiem 1,5 metrowym przewodem. Pomiar natężenia oświetlenia może być przeprowadzany w szerokim zakresie regulowanym przez użytkownika. Miernik zasilany jest z 12V baterii alkalicznej typ A23. Posiada funkcję automatycznego odciążenia zasilania po 15 min. bezczynności oraz sygnalizację rozładowania baterii. Luksomierz może być stosowany od pomiarów w domu, pracy, szkole, przy hodowli roślin i zwierząt oraz do celów inspekcyjnych pomieszczeń, w których pracują lub przebywają ludzie, w fotografii, itp.

W naszym przypadku będziemy go używać do pomiarów promieniowania słonecznego, którego jednostka jest W/m^2 . Przeliczenie natężenie oświetlenia I_o na natężenie promieniowania słonecznego F_s będzie wykonywane przy użyciu prostego wzoru uwzględniający znaną stałą kalibracyjną $C=9,15 W/m^2/klx$ dostarczoną z przyrządem

$$F_s = C \cdot I_o \quad (3)$$

Do pomiarów bezpośredniego promieniowania słonecznego wykorzystamy wcześniej przygotowaną pomoc naukową w postaci tekturowego rulonu o długości ok. 50 cm. Składamy go z tektury pomalowanej na czarno w ten sposób aby wewnętrzna średnica była zbliżona do średnicy detektora luksomierza. W ten sposób ograniczymy światło docierające do luksomierza

3. Przeprowadzenie obserwacji

Procedura pomiarowa będzie składała się dwóch pomiarów wykonanych luksomierzem podczas słonecznych warunków atmosferycznych. Minimalne wymagania to widoczne (niezasłonięte) okolice zenitu oraz słońca.

Przebieg procedury pomiarowej:

1. Wyjmij czujnik oraz wyświetlacz luksomierza z etui.
2. Uruchom luksomierz poprzez przekręcenie pokrętła w prawo. Ustaw odpowiedni zakres pomiarowy 50000.
3. Upewnij się że na wyświetlaczu ustawione są jednostki LUX. Jeśli nie to naciśnij środkowy przycisk.
4. Przyrząd powinien w tym momencie wskazywać 0 LUX
5. Otwórz czujnik luksomierza poprzez ściągnięcie górnej pokrywy i sprawdź czy głowica przyrządu jest czysta. Jeśli nie wyczyść głowicę delikatną chusteczką. Pamiętaj, aby głowica pomiarowa nie była wilgotna.
6. Ustaw czujnik luksomierza poziom skierowany czujnikiem (białą półkulą do góry). Najlepiej położyć go na ziemi. Osoba wykonująca pomiar ani osoby obserwujące nie mogą zasłaniać światła padającego na głowicę fotometryczną. W ten sposób zmierzymy całkowite natężenie oświetlenia.
7. Odczytaj trzykrotny wynik pomiaru w odstępach ok. 5 sekundowych.
8. Zmierz natężenie promieniowania bezpośredniego w następujący sposób. Weź do ręki głowicę pomiarowa luksomierza i załóż na nią rulon z tektury. Następnie wyceluj nim w słońce. Patrząc na wskazania luksomierza ustaw przyrząd w kierunku tarczy słonecznej. Zanotuj wartość maksymalna.
9. Punkt 8 powtórz trzykrotnie.
10. Po zakończeniu pomiarów zamknij czujnik luksomierza i schowaj przyrząd do etui.

4. Protokół wyników

Wypełnij tabele wpisując datę pomiaru, godzinę w czasie uniwersalnym (odjąć 2 godziny dla czasu letniego lub odjąć 1 godzinę dla czasu zimowego), natężenie całkowite oraz bezpośrednie oświetlenia w klx. Następnie oblicz wartości średnie z trzech pomiarów i na podstawie pomiarów luksomierzem wyznacz natężenie promieniowania całkowitego F_s oraz bezpośredniego F_b ze wzoru 3. W dalej kolejności wyznacz kąt elewacyjny słońca dla momentu

wykonania pomiaru używając jednego z dostępnych w internecie kalkulatorów położenia słońca [2]. Następnie wyznacz sinus kąta elewacyjnego słońca oraz natężenie promieniowania bezpośredniego na powierzchni poziomą we wzoru 1. Na koniec oblicz natężenie promieniowania rozproszonego oraz procentowy udział promieniowania rozproszonego w promieniowaniu całkowitym.

Data oraz godzina UTC pomiaru	Pomiary oświetlenia klx				natężenie promieniowania [W/m ²]
	I	II	III	średnia	
promieniowanie całkowite F_c					
promieniowanie bezpośrednie F_b					
kąt elewacyjny słońca α					X
$\sin(\alpha)$					X
$F_{bpoz} = F_b * \sin(\alpha)$	X	X	X		
promieniowanie rozproszone $F_r = F_c - F_{bpoz}$	X	X	X		
udział promieniowania rozproszonego [%]: $F_r / F_c * 100\%$	X	X	X		

5. Analiza wyników

Przeprowadź dyskusję, od czego zależy udział promieniowania rozproszonego w promieniowania całkowitym. Od jakich parametrów atmosferycznych będzie on zależał? Oszacuj, jaki jest błąd pomiarowy promieniowania bezpośredniego związanego z ustawianiem przyrządu w kierunku słońca. Czy można go jakoś zmniejszyć? Zaproponuj inną metodę pomiaru promieniowania bezpośredniego.

6. Literatura

[1] Pomiary promieniowania słonecznego

<http://www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja/wyklady/MeteorologiaDoswiadczalna/2010/Wyklad2.ppt>

[2] Kalkulatory kąta elewacyjnego Słońca

<http://blog.kubiczek.eu/2008/11/kalkulator-polozenia-slonca/>

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/index.html>

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/neubrew/SolarCalc.jsp>