

# Wyznaczanie bilansu energii i albedo powierzchni ziemi

Krzysztof Markowicz

Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

**Czas trwania:** 30 minut

**Czas obserwacji:** dowolny

**Wymagane warunki meteorologiczne:** dowolne

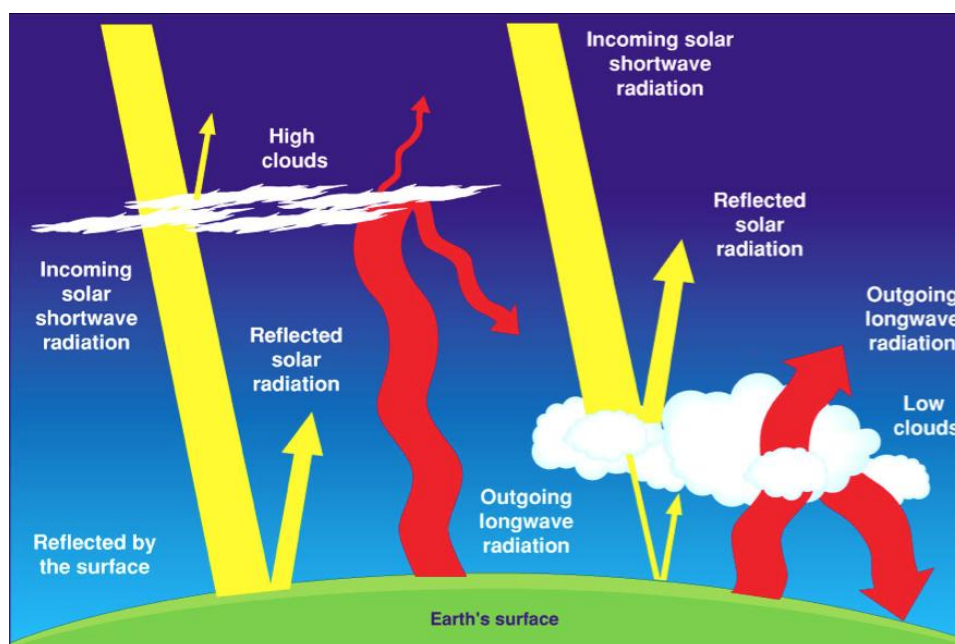
**Częstotliwość wykonania:** 1-kilka razy w ciągu dnia

**Poziom szkoły:** gimnazjum, liceum

**Materiały i przyrządy:** pirometr, luksomierz

## 1. Wstęp

Bilans energii jest podstawowym pojęciem fizycznym, który wpływa na temperaturę. Dodatni bilans energii mówi nam, że dana warstwa powietrza, wody lub gleby otrzymuje więcej energii niż jej oddaje otoczeniu, co skutkuje jej



Rys. 1 Bilans promieniowania w atmosferze. Kolorem żółtym oznaczono promieniowanie słoneczne docierające do ziemi oraz odbite od powierzchni ziemi i chmur. Kolorem czerwonym oznaczono promieniowanie podczerwone emitowane przez powierzchnie ziemi oraz chmury. Źródło: <http://mynasadata.larc.nasa.gov/oyw/scool-featured-lesson-classification-of-clouds/>

ogrzewaniem. Ujemny bilans jest związany z większym ubytkiem energii, co prowadzi do ochładzania. Z tego powodu znajomość bilansu energii jest kluczowa dla zrozumienia zmian czasowych temperatury w skali od minut przez dni do lat. Z pojęciem bilansu energii związana jest zasada zachowania energii, zgodnie, z którą nie ulega ona zniszczeniu ani też nie może powstać znikąd, lecz może ulegać przemianom z jednych form w inne. Zastanówmy się, jakie są główne składniki bilansu energii powierzchni ziemi. Głównie źródło energii to promieniowanie słoneczne, które dociera do powierzchni ziemi. Część tego promieniowania jest odbita od powierzchni ziemi i ucieka w przestrzeń kosmiczną. Dodatkowo źródłem energii jest sama ziemia, która emituje energię w postaci niewidocznego promieniowania podczerwonego. Część tego promieniowania ucieka w przestrzeń kosmiczną a część jest pochłonięta przez atmosferę i emitowana w kierunku powierzchni ziemi. Pozostałe źródła energii takie jak ciepło wnętrza ziemi czy przenoszenie energii za pomocą konwekcji (ruchów pionowych w atmosferze) ma mniejsze znaczenie i zostanie tutaj pominięta. Bilans energii powierzchni ziemi ma, więc postać:

$$B = F_s^\downarrow + F_{IR}^\downarrow - (F_s^\uparrow + F_{IR}^\uparrow) \quad (1)$$

gdzie po strony zysków stoją: docierające promieniowania słoneczne  $F_s^\downarrow$  oraz promieniowania podczerwone  $F_{IR}^\downarrow$ , zaś po stronie strat odbite promieniowanie słoneczne  $F_s^\uparrow$  oraz emitowane przez powierzchnię ziemi promieniowanie podczerwone  $F_{IR}^\uparrow$ .

Bilans energii podlega zmianą czasowym w cyku dobowym jak i rocznym. W nocy ze względu na brak słońca bilans jest ujemny a po wschodzie słońca zaczyna rosnać stając się w pewnym momencie dnia dodatnim. W godzinach około południa lokalnego (górowanie słońca) osiąga wartość maksymalną. Podobnie w cyklu rocznym bilans jest najwyższy latem a najniższy zimą. Przy czym wartości bilansu w okresie zimowym są ujemne. Bywają jednak dni, gdy bilans zimą jest dodatni. Wpływają na to chmury oraz pokrycie terenu. Z pokryciem terenu związany jest parametr optyczny zwany albedem, który ma duże znaczenie na wartość bilansu energii. Albedo jest zdefiniowane, jako iloraz promieniowania słonecznego odbitego od danej powierzchni do promieniowania padającego na daną powierzchnię. Najczęściej wyraża się go w procentach zgodnie ze wzorem

$$A = \frac{F_s^\uparrow}{F_s^\downarrow} \cdot 100\% \quad (2)$$

Najwyższym albedem charakteryzuje się powierzchnia świeżego śniegu, którego albedo może przekraczać 90%. W tym przypadku, ponieważ prawie całe promieniowanie słoneczne jest odbite, bilans energii jest ujemny. Drugim skrajnym przypadkiem jest powierzchnia wody, która odbija jedynie 2-3% energii. Nieco więcej odbija gleba nie pokryta roślinnością, zaś powierzchnia trawiaste oraz lasy odbijają około 10-20% energii. Ponieważ albedo powierzchni ziemi na duży wpływ ma bilans energii związku z tym działalność człowieka związana ze zmianą typu powierzchni (wycinanie lasów, budowa dużych miast) wpływa na bilans energetyczny naszej planety. Innym przykładem znanym doskonale z życia codziennego jest osadzanie się zanieczyszczeń emitowanych przez człowieka na powierzchni śniegu. W dużych miastach śnieg już po kilku dniach od ostatnich opadów zmienia kolor na bardziej szary i zaczyna pochłaniać coraz więcej energii. Z tego powodu znajomość albedo powierzchni ziemi a w konsekwencji bilansu energetycznego jest podstawową wielkością w monitorowaniu zmian klimatu.

## 2. Przyrządy pomiarowe

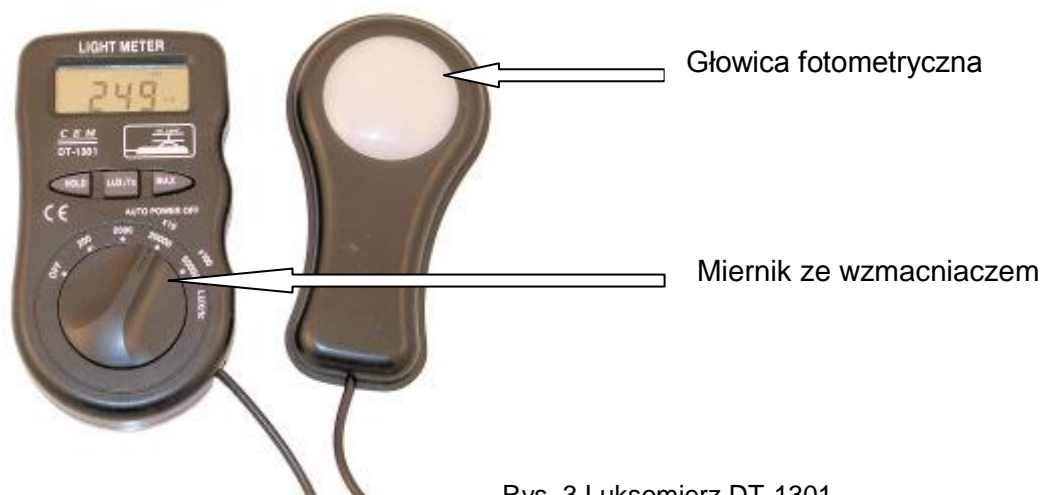
Jednym z przyrządów, który będzie wykorzystany podczas obserwacji jest pirometr. Przyrząd ten służy do bezdotykowego pomiaru temperatury. Pirometr mierzy ilość (natężenie) energii emitowanej przez ciała w określonej jednostce czasu poprzez pomiar temperatury elementu, na który pada promieniowanie termiczne (termoparę). Obecnie pirometry coraz częściej stosuje się do pomiaru temperatury ciał fizycznych np. pirometr lekarski służy do pomiaru temperatury ciała człowieka czy temperatury przygotowywanych posiłków.



Rys. 2 PIR882-C Pirometr Compact

Stosowany będzie pirometr kompaktowy PIR 882C (widoczny na zdjęciu) jednak doświadczenie może być przeprowadzone dowolnym pirometrem, którego zakres temperatury jest, co najmniej w przedziale od -50 do 50 °C. Przyrząd charakteryzuje się prostym sposobem obsługi oraz nowoczesną, ergonomiczną obudową. Wyposażony jest w celownik laserowy pozwalający na precyzyjne określenie punktu pomiarowego. Posiada funkcje podświetlenia wyświetlacza oraz zatrzymania wyniku pomiaru (Data Hold).

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. 3 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 odcięcia 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 jednostką jest  $W/m^2$ . Przeliczenie natężenie oświetlenia  $I_0$

na natężenie promieniowania słonecznego  $F_s$  będzie wykonywane przy użyciu prostego wzoru uwzględniający znaną stałą kalibracyjną  $C=9,15 \text{ W/m}^2/\text{klx}$  dostarczoną z przyrządem

$$F_s = C \cdot I_o \quad (4)$$

### 3. Przeprowadzenie obserwacji

Procedura pomiarowa będzie składała się z czterech pomiarów, po dwa przeprowadzone pirometrem oraz luksomierzem. Wszystkie pomiary powinny być wykonane w miejscu gdzie możliwe najlepiej widoczny jest nieboskłon. Minimalne wymagania to widoczne (niezasłonięte) okolice zenitu oraz słońca.

Przebieg procedury pomiarowej luksomierzem:

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.
7. Odczytaj trzykrotny wynik pomiaru w odstępach ok. 5 sekundowych.
8. Odwróć głowicę pomiarową do góry nogami i trzymając możliwie poziomo w wyciągniętej ręce wykonaj trzykrotny pomiar w odstępach 5 sekundowych. Pomiar należy wykonać na wysokości od 0,5 do 1,5 metra nad gruntem. Pamiętaj, aby głowica pomiarowa była możliwie najdalej odsunięta od ciała osoby wykonującej pomiar. Nad ciemnymi powierzchniami należy zmienić zakres przyrządu na mniejszy.
9. Po zakończeniu pomiarów zamknij czujnik luksomierza i schowaj przyrząd do etui.

Przebieg procedury pomiarowej z użyciem pirometru

1. Skieruj pirometr w kierunku zenitu
2. Naciśnij czerwony przycisk
3. Sprawdź czy jednostkami temperatury są stopnie Celsiusa, jeśli nie to naciśnij przycisk °C.
4. W celu wykonania pomiaru temperatury naciśnij i trzymaj czerwony przycisk. W czasie pomiaru na wyświetlaczu pojawia się napis SCAN. Wyniki są odświeżane 2.5 razy na sekundę.
5. Przez 5 sekund obserwuj wskazania przyrządu i oszacuj wartość średnią temperatury.
6. Po zakończeniu pomiaru (zwolnieniu czerwonego przycisku) przyrząd zapamiętuje ostatnią wartość i wyświetla napis HOLD.
7. Punkty 4-5 powtórz 3 razy.
8. Następnie skieruj pirometr pionowo w dół, ale staraj się nie kierować przyrządu w swoje buty.
9. Punkty 4-5 powtórz 3 razy
10. Przyrząd wyłącza się automatycznie
11. Raz w miesiącu sprawdź stan baterii poprzez odłączenie baterii i podłączenie jej do miernika uniwersalnego. Jeśli napięcie jest mniejsze niż 8 V wymień baterie na nową.

Na podstawie zmierzonej pirometrem temperatury  $t$  wyznaczamy promieniowanie podczerwone zgodnie ze wzorem

$$F_{IR} = \sigma \cdot (t + 273)^4 \quad (4)$$

gdzie  $\sigma$  jest Stała Stefana Boltzmanna i wynosi  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}$ .

**Uwaga: Nigdy nie kieruj przyrządu w kierunku słońca**

Dodatkowo w czasie pomiarów mierzymy temperaturę powietrza. W tym celu korzystamy z termometru zaokienego lub termometru w klatce meteorologicznej, (jeśli takową posiadamy).

#### **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), temperaturę powietrza mierzona zwykłym termometrem oraz wyniki kolejnych trzech pomiarów pirometrem oraz luksomierzem. Zwróć uwagę na jednostki zmierzonych wielkości fizycznych. Następnie oblicz wartości średnie z trzech pomiarów i na podstawie pomiarów luksomierzem wyznacz natężenie promieniowania ze wzoru 3 oraz pirometrem natężenie promieniowanie długofalowego ze wzoru 4. W dalszej kolejności wyznacz albedo (wzór 2 ) oraz bilans promieniowania (1).

Typ powierzchni ziemi: .....	Pomiary				Średnia energia [W/m <sup>2</sup> ]
	I	II	III	średnia	
<b>Data i godzina [UTC] pomiaru</b>					
<b>Luksomierz skierowany do góry [klx]</b>					
<b>Luksomierz skierowany na dół [klx]</b>					
<b>Pirometr skierowany do góry [°C]</b>					
<b>Pirometr skierowany na dół [°C]</b>					
<b>Albedo powierzchni ziemi</b>	x	x	x		
<b>Bilans energii w W/m<sup>2</sup> na podstawie wzoru 1</b>	x	x	x		

## 5. Analiza wyników

Ćwiczenie powtarzamy nad różnymi typami podłoża (np. trawa, beton, asfalt a w zimie nad pokrywa śnieżna) oraz w warunkach słonecznych oraz gdy zachmurzenie przekracza 80-90%. W wyniku wykonanych pomiarów oraz przeprowadzonych rachunków otrzymaliśmy wartości albedo oraz bilansu energii nad danym typem podłoża. Analizuje uzyskane wyniki pod kątem zmian albedo w zależności od typu podłoża oraz zmian bilansu energii od typu podłoża oraz zachmurzenia. Pomiary bilansu energii możemy wykonać również nocą, gdy nie mamy promieniowania słonecznego. Bilans energii porównujemy to wartości

zmierzonej temperatury powierzchni ziemi. W jakim przypadku temperatura jest najwyższa a kiedy jest najniższa?

## **6. Literatura**

[1] Bilans energii systemu klimatycznego

<http://www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja/climatebilans.php>