

**SZACUNEK WIELKOŚCI  
PROMIENIOWANIA CAŁKOWITEGO  
NA STACJI H. ARCTOWSKIEGO  
(SZETLANDY POŁUDNIOWE)**

**Andrzej A. Marsz, Anna Styszyńska**

*Wyższa Szkoła Morska, Gdynia  
Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej*

**Sformułowanie zagadnienia**

Polską Stację Antarktyczną im. H. Arctowskiego położoną nad Zatoką Admiralicji na Wyspie Króla Jerzego (King George Island), w archipelagu Szetlandów Południowych, otwarto w 1977 roku ( $\varphi = 62^{\circ}10'S$ ,  $\lambda = 058^{\circ}28'W$ ,  $h = 3$  m n.p.m.). Od tego czasu na Stacji prowadzi się szereg badań z wielu dyscyplin, a szczególnie nad ekosystemem przybrzeżnej Antarktyki. Funkcjonowanie tego ekosystemu regulowane jest w znacznej mierze przez klimat, w kształtowaniu którego istotną rolę odgrywa radiacja słoneczna.

W okresie pracy stacji meteorologicznej, w latach 1977-1989, pomiary elementów charakteryzujących bilans radiacyjny, jako nie wchodzące w skład normalnych obserwacji SYNOP, wykonywane były jedynie sporadycznie. W miarę regularnie mierzono tylko wielkość usłonecznienia. Wyniki tych pomiarów pozwoliły na określenie wielkości usłonecznienia rzeczywistego w stosunku do możliwego, a przez to na oszacowanie wpływu czynników topograficznych (Styszyńska 1992) i cyrkulacyjnych, przede wszystkim zachmurzenia (Styszyńska 1994), na czas insolacji, który jak wiadomo limituje dopływ promieniowania bezpośredniego do powierzchni Ziemi.

Pierwsze pomiary promieniowania całkowitego przeprowadzone zostały przez A. Krężela i K. Pęcherzewskiego (1981) w trakcie jednej z pierwszych ekspedycji letnich. Pomiary te obejmujące okres dwóch miesięcy (20.12.1978-20.02.1979) wykonywano za pomocą pyranometru termoelektrycznego Janiszewskiego. Omawiane obserwacje pozwalają na obliczenie, na podstawie podanych przez A. Krężela i K. Pęcherzewskiego średnich

dekadowych sum dziennych, jedynie jednej wielkości średniej miesięcznej sumy dziennej – w styczniu 1979 roku, wynosi ona  $295.85 \text{ kW/m}^2$ . Niestety, znajomość sumy miesięcznej z jednego, konkretnego miesiąca może być przydatna jedynie do charakterystyki zjawiska dziejącego się w tym samym czasie. Natomiast wyciąganie na tej podstawie dalej idących wniosków jest nieuprawnione.

W trakcie tej samej ekspedycji J. Piasecki (1988) prowadził pomiary RC na przedpolu lodowca Sphinx, ale wyniki tych obserwacji nie zostały niestety opublikowane.

W roku 1980, całoroczne pomiary promieniowania całkowitego na Stacji Arctowskiego prowadził A. Maciążek. Z wyników badań złożył jedynie sprawozdanie zawierające między innymi wyniki pomiarów „dekadowych” i „miesięcznych” sum RC. Dane przedstawione przez Maciążka zostały początkowo uznane przez autorów za bezwartościowe, ze względu na fakt, że podane wartości w rażący sposób odbiegały od możliwych. Po uzyskaniu wyników pomiarów promieniowania całkowitego z pobliskiej stacji Bellingshausen dla tego samego roku, dane Maciążka poddano szczegółowej analizie (Marsz i Styszyńska 1994). Okazało się, że wartości podawane w sprawozdaniu jako „sumy dekadowe” reprezentują najprawdopodobniej średnie dekadowe sumy dzienne promieniowania całkowitego, a „sumy miesięczne” stanowią zsumowanie trzech średnich dekadowych sum dziennych. Dane Maciążka, z 1980 roku, po wprowadzeniu poprawek i zmianie mian Marsz i Styszyńska (1994) uznali za mające znaczenie jedynie orientacyjne.

Jak wynika z przedstawionych rezultatów dotychczasowych badań nad dopływem promieniowania całkowitego w rejonie Stacji Arctowskiego, brak do tej pory wiarygodnych danych o wielkości radiacji na tym terenie w dłuższym horyzoncie czasowym. Ponieważ dopływ energii promienistej Słońca jest nie tylko jednym z ważniejszych czynników kształtujących warunki atmosferyczne, ale również szereg innych procesów biotycznych i abiotycznych działających w środowisku, to w takiej sytuacji konieczne staje się oszacowanie tej wielkości drogą pośrednią.

## Dane i metoda

Do oszacowania wielkości promieniowania całkowitego Słońca docierającego do Stacji Arctowskiego wykorzystano metodę opracowaną przez A. Styszyńską (1995). Jeśli dysponuje się danymi obserwacyjnymi o zachmurzeniu i usłonecznieniu to pozwala ona na względnie wiarygodne obliczenie wielkości RC, rzeczywiście dopływającej do powierzchni Ziemi.

Dla Arctowskiego pełne serie pomiarów usłonecznienia obejmują rok 1979 i lata 1981-1983 oraz 1985-1989 (Rocznik Meteorologiczny Arctowski

1979 -1989). Dla roku 1980, dla którego brak danych w roczniku, miesięczne sumy usłonecznienia uzyskano dzięki uprzejmości D. Wielbińskiej z IMGW.

Materiały dotyczące średniego miesięcznego zachmurzenia ogólnego obejmują ten sam okres, to jest lata 1979-1983 i 1985-1989. W przeważającej większości powstały one z uśredniania 8 obserwacji terminowych, a jedynie w latach 1982 i 1983, z powodu braku danych, z 3 obserwacji (00, 12 i 18 GMT).

Formuła pozwalająca na obliczenie RC ma postać (Styszyńska, 1995):

$$RC = [Qr \frac{Ur_z}{Um}] + [(1 - (0.32 + \frac{0.0125 \cdot N}{0.826 - 0.075 \cdot N})) \cdot (Qr - (Qr \frac{Ur_z}{Um}))], \quad (1)$$

gdzie:

- Qr – promieniowanie bezpośrednie maksymalnie możliwe,
- Ur<sub>z</sub> – usłonecznienie rzeczywiste,
- Um – usłonecznienie możliwe,
- N – zachmurzenie ogólne w oktanach.

Suma radiacji przychodzącej od Słońca (Qr) jest ściśle określona, uwzględnia wszystkie czynniki natury astronomicznej i procesy osłabiania promieniowania słonecznego w atmosferze w funkcji przezroczystości (q):

$$Qr = So \cdot (ro/r)^2 \cdot q^m \cdot \sin hs, \quad (2)$$

gdzie:

- So – stała słoneczna,
- ro – średnia odległość Ziemia-Słońce,
- r – chwilowa odległość Ziemia-Słońce,
- q – współczynnik przezroczystości atmosfery,
- m – masa optyczna atmosfery,
- hs – wysokość Słońca.

Podobnie ścisłą wielkością, określoną w obliczeniach astronomicznych, jest usłonecznienie możliwe (Um). Dla Stacji Arctowskiego przyjęto wielkości podane przez Styszyńską (1992).

Do oszacowania sum miesięcznych Qr według wzoru (2) i RC według wzoru (1) wykorzystano przedstawione w pracy Styszyńskiej (1995) programy komputerowe „POLEPODS” i „RCSUMIES”.

Przed przystąpieniem do obliczeń Qr należy jednak rozważyć, jaką wartość współczynnika przezroczystości (q) należy wprowadzić do programu „POLEPODS”, aby uzyskać wyniki jak najbardziej zbliżone do rzeczywistości. Szczegółowa dyskusja tego zagadnienia przeprowadzona dla Antarktyki, w tym dla Stacji Bellingshausen i Arctowski, przez Styszyńską, pozwala na

przyjęcie za najbardziej właściwą dla Arctowskiego wielkości  $q = 0.85$ . Między innymi wskazuje na to porównanie uzyskanych za pomocą wzoru (1) sum RC dla 1980 roku z poprawionymi (niezbyt pewnymi) danymi Maciążka (patrz Styszyńska 1995).

W wysokich szerokościach geograficznych, ze względu na małą wysokość i mały kąt wznoszenia Słońca oraz powtarzalność niektórych zjawisk, takich jak: mgły, opady, zamiecie niskie lub też szron osadzający się na kuli heliografu, dochodzi do niedoszacowania mierzonego usłonecznienia. Błąd ten, podobnie jak i inne wynikające z pewnego niedookreślenia szybko-zmiennego zachmurzenia, a mające wpływ zarówno na promieniowanie bezpośrednie jak i rozproszone, przenoszą się do formuły (1) i przyczyniają do nieprecyzyjnego obliczenia za jej pomocą wielkości RC. Błędy te, jak podaje Styszyńska (1995), można wyeliminować stosując do obliczonej wielkości RC odpowiedni, obliczony przez nią, współczynnik korekcyjny ( $k$ ) będący funkcją szerokości geograficznej i momentu (wycinka czasu).

## Wnioski

Wyniki obliczeń miesięcznych i rocznych sum promieniowania całkowitego (RC) docierającego do powierzchni poziomej na Stacji Arctowskiego oparte na rzeczywistych wielkościach usłonecznienia i zachmurzenia ogólnego w poszczególnych latach przedstawia tabela 1.

Choć obowiązującą w układzie SI jednostką natężenia promieniowania jest  $W/m^2$  to wyniki obliczeń w tabeli 1 celowo podano w  $kcal/cm^2$ . Postępowanie takie pozwala na łatwe porównanie podanych wartości z większością do tej pory opublikowanych wyników obserwacji promieniowania w Antarktyce, a zwłaszcza z wynikami ze Stacji Bellingshausen.

Charakterystyczną cechą rozkładu sum miesięcznych RC jest ich duża zmienność zarówno w skali roku jak i z roku na rok. W badanym okresie średnia wieloletnia wynosi  $77.62 kcal/cm^2$  ( $54.16 MW/m^2$ ) i waha się od  $82.37 kcal/cm^2$  ( $57.48 MW/m^2$ ) w 1983 roku do  $70.09 kcal/cm^2$  ( $48.91 MW/m^2$ ) w 1988 roku, przy  $\sigma_{n-1} = 3.974 kcal$  na  $cm^2$ . Za zaskakująco duże, jak na klimat o raczej dużej monotonii pogodowej, należy uznać zaznaczające się znaczne różnice wielkości rocznych sum promieniowania całkowitego na Stacji Arctowskiego z roku na rok, przekraczające  $11.5 kcal/cm^2$  ( $8.07 MW/m^2$ ) – lata 1987 i 1988.

Najniższe sumy miesięczne, co zrozumiałe, otrzymano w czerwcu, w okresie najkrótszego dnia. Wynoszą one przeciętnie  $0.196 kcal/cm^2$  ( $0.14 MW/m^2$ ). Zmiany z roku na rok są niewielkie i wahają się od  $0.253 kcal/cm^2$  ( $0.18 MW/m^2$ ) w 1981 roku do  $0.155 kcal/cm^2$  ( $0.11 MW/m^2$ ) w 1979 roku.

**Tabela 1 – Table 1**  
Miesięczne i roczne sumy promieniowania całkowitego na Stacji Arctowskiego w latach 1979 - 1989 w [kcal/cm<sup>2</sup>],  
 $\sigma_{n-1}$  - odchylenie standardowe z małej próby

Monthly and annual sums of global radiation at Arctowski Station from  
the years 1979 -1989 [in kcal/cm<sup>2</sup>],  $\sigma_{n-1}$  - sample standard deviation

| rok year       | 01     | 02     | 03    | 04    | 05    | 06    | 07    | 08    | 09    | 10     | 11     | 12     | $\Sigma$ rok $\Sigma$ year |
|----------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|----------------------------|
| 1979           | 14.766 | 8.915  | 7.326 | 2.762 | 0.902 | 0.155 | 0.564 | 2.467 | 5.095 | 9.252  | 11.403 | 12.201 | 75.808                     |
| 1980           | 12.524 | 7.449  | 6.929 | 2.689 | 0.741 | 0.207 | 0.642 | 2.304 | 5.622 | 11.590 | 12.198 | 14.946 | 77.841                     |
| 1981           | 14.020 | 10.115 | 6.219 | 3.429 | 0.878 | 0.253 | 0.639 | 2.440 | 5.450 | 9.627  | 13.041 | 15.614 | 81.725                     |
| 1982           | 15.940 | 9.822  | 6.783 | 2.994 | 0.815 | 0.206 | 0.495 | 2.346 | 6.548 | 9.986  | 11.755 | 12.633 | 80.323                     |
| 1983           | 12.959 | 10.255 | 6.494 | 3.638 | 0.791 | 0.197 | 0.527 | 2.576 | 5.524 | 10.044 | 12.598 | 16.771 | 82.374                     |
| 1985           | 12.485 | 7.837  | 5.974 | 2.984 | 0.767 | 0.208 | 0.486 | 2.116 | 5.258 | 10.335 | 11.414 | 14.164 | 73.728                     |
| 1986           | 11.605 | 8.533  | 6.540 | 2.581 | 0.706 | 0.165 | 0.564 | 2.182 | 6.004 | 11.175 | 11.286 | 15.471 | 76.812                     |
| 1987           | 11.891 | 10.415 | 7.984 | 2.465 | 0.853 | 0.202 | 0.619 | 2.793 | 5.620 | 10.465 | 14.302 | 14.051 | 81.660                     |
| 1988           | 10.933 | 11.012 | 5.676 | 2.910 | 0.936 | 0.180 | 0.541 | 2.607 | 5.351 | 7.964  | 9.949  | 11.969 | 70.088                     |
| 1989           | 14.981 | 9.487  | 7.187 | 2.204 | 0.823 | 0.186 | 0.631 | 1.796 | 4.868 | 9.199  | 12.568 | 11.902 | 75.832                     |
| max            | 15.940 | 11.012 | 7.984 | 3.638 | 0.936 | 0.253 | 0.642 | 2.793 | 6.548 | 11.590 | 14.302 | 16.771 | 82.374                     |
| min            | 10.993 | 7.449  | 5.674 | 2.204 | 0.706 | 0.155 | 0.486 | 1.796 | 4.868 | 7.964  | 9.949  | 11.902 | 70.088                     |
| śr. avr.       | 13.216 | 9.384  | 6.681 | 2.866 | 0.821 | 0.196 | 0.571 | 2.363 | 5.534 | 9.964  | 12.051 | 13.972 | 77.619                     |
| $\sigma_{n-1}$ | 1.635  | 1.168  | 0.725 | 0.430 | 0.073 | 0.027 | 0.059 | 0.284 | 0.473 | 1.039  | 1.181  | 1.732  | 3.974                      |

Najwyższe sumy miesięczne najczęściej występują w miesiącu, w którym wysokości Słońca są największe (grudzień). Styczniowe maksima, choć występują rzadziej (1979, 1982 i 1989), są jednak bardzo wyraźne, miesięczna suma RC jest o około  $3 \text{ kcal/cm}^2$  ( $2.1 \text{ MW/m}^2$ ) wyższa niż w grudniu. Sumy grudnia i listopada są wtedy zbliżone do siebie, a pomiędzy styczniem i lutym zaznacza się bardzo wyraźny spadek. Tak duże zmniejszenie wielkości sum miesięcznych między styczniem a lutym w części stanowi odbicie krótszego okresu sumowania (28, a nie 31 dni).

Największe zmiany z miesiąca na miesiąc mają miejsce w okresach przejściowych pomiędzy wrześniem i październikiem oraz marcem i kwietniem. Jest to spowodowane największą w tych miesiącach zmianą dobową deklinacji Słońca, a co za tym idzie największymi w tych miesiącach przyrostami wysokości Słońca. W rezultacie następuje gwałtowny wzrost (IX-X) lub spadek (III-IV) usłonecznienia możliwego.

Stosunkowo wysokie sumy RC października w porównaniu do listopada należy wiązać z osobliwościami w cyrkulacji atmosfery, których efektem jest małe zachmurzenie, a w konsekwencji duże usłonecznienie tego miesiąca (Styszyńska 1994). Ponieważ elementy te wchodzi w skład formuły (1), ich wpływ na rozmiar oszacowanej wielkości RC jest oczywisty.

Przy stale dużym zachmurzeniu ogólnym dominujący wpływ na wielkość promieniowania całkowitego ma czas insolacji, zwłaszcza w ciepłej porze roku. Charakterystyczny pod tym względem jest 1988 rok. W styczniu zachmurzenie jest wyższe niż średnio w wieloleciu (7.0/8, gdy wieloletnie 6.6/8) co powoduje znaczny spadek usłonecznienia rzeczywistego (66.1 h, gdy średnia wieloletnia = 118.6 h) i względnego (13.1%). W efekcie obliczona suma RC jest najniższą ze wszystkich styczniowych. Z kolei luty cechuje się najwyższym w tym roku i w badanym 10-leciu usłonecznieniem ( $U_{rz} = 139.9$  godzin,  $U_{wzgl} = 36.5\%$ ) i niższym od średniego zachmurzeniem ogólnym ( $N = 6.0/8$ ,  $N_{sr. \text{ wiel.}} = 6.5/8$ ). W rezultacie RC tego miesiąca jest najwyższe ze wszystkich lutowych i dodatkowo jest również wyższe od RC stycznia 1988 roku. Podobne warunki miały miejsce w 1987 roku.

Oszacowane sumy roczne promieniowania całkowitego na Stacji Arctowskiego wskazują, że rejon Stacji otrzymuje nieco większe ilości energii promienistej Słońca niż leżąca w bezpośrednim pobliżu stacja Bellingshausen. Można to interpretować jako efekt oddziaływania czynników lokalnych, zmniejszających zachmurzenie ogólne na Stacji Arctowskiego w stosunku do Stacji Bellingshausen. Nie zmienia to faktu, że ilość dopływającej energii promienistej Słońca do tego obszaru jest bardzo niska.



## Literatura

- Krężel A., Pęcherzewski K., 1981, Preliminary data on total radiation in the region of Arctowski Station (King George Island, South Shetland Islands). [w:] Pol. Polar Res., vol. 2, No 3-4, s. 47 – 54.
- Marsz A., Styszyńska A., 1994, Pomiar promieniowania całkowitego na Stacji Arctowskiego z roku 1980. [w:] Problemy Klimatologii Polarnej 4, WSM Gdynia, s. 59 – 64.
- Piasecki J., 1988, Sprawozdanie z bagań glacyoklimatologicznych na lodowcach szetlandzkich w rejonie Zatoki Admiralicji w lecie 1978/79 r. [w:] Biuletyn Meteorologiczny No 29(4), cz. A. Artykuły. [w:] Acta Univer. Wratisl. No 738, s. 165 – 172.
- Roczniki Meteorologiczne „Arctowski”, 1979 – 1989, IMGW, Gdynia.
- Styszyńska A., 1992, Usłonecznienie na Stacji Arctowskiego (King George Island, South Shetland Islands). [w:] Problemy Klimatologii Polarnej 2, WSM Gdynia, s. 12 – 20.
- Styszyńska A., 1994, Związki między zachmurzeniem a usłonecznieniem na Stacji Arctowskiego (Szetlandy Południowe). [w:] Problemy Klimatologii Polarnej 4, WSM Gdynia, s. 43 – 58.
- Styszyńska A., 1995, Dopływ promieniowania całkowitego Słońca do powierzchni o dowolnym nachyleniu i ekspozycji. Prace Naukowe WSM w Gdyni. WSM Gdynia, ss. 160.

## ESTIMATED VALUE OF GLOBAL RADIATION AT THE ARCTOWSKI STATION (SOUTH SHETLAND ISLANDS)

### Summary

Monthly and annual values of global radiation ( $RC$ , in  $\text{kcal/cm}^2$ ) were estimated for the Arctowski Station due to the Styszyńska formula (1995, formula [1]). The data for the carried out estimated values were dimensions of mean monthly cloudiness ( $N$ ) and sunshine duration ( $Ur_z$ ) measured at the Arctowski Station in years 1979-1989 (except 1980 – together ten years of observation). The „POLEPODS.EXE” programme by Styszyńska (1995) allows estimate the value of direct-potential radiation ( $Q_r$ ), whereas possible sunshine duration was estimated by ordinary astronomical method, taking into consideration horizon covering (Styszyńska 1992). The results of estimation are shown in the table 1.

Analysis of estimated values shows that large changeability of annual sums of global radiation exists there, reaching maximum about  $11.5 \text{ kcal/cm}^2$  – year-to-year. Mean many years' sums of global radiation at the Arctowski Station are a little bigger than at the Bellingshausen Station. It is influenced by the local conditions (topography) which cause smaller total cloudiness at the Arctowski Station.