

PORÓWNANIE BEZPOŚREDNIEGO PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO
I JEGO EKSTYNKЦИИ W ATMOSFERZE W WARSZAWIE
I W MIKOŁAJKACH*

Joanna Uscka-Kowalkowska

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika
ul. Gagarina 9, 87-100 Toruń
e-mail: joanna@geo.uni.torun.pl

Streszczenie. W opracowaniu porównano wielkość bezpośredniego promieniowania słonecznego i jego ekstynkcji w Warszawie i w Mikołajkach. Materiał źródłowy stanowiły wyniki pomiarów prowadzonych przez IMGW w latach 1960-2003. Do opracowania z badanego okresu wybrano tylko te dni, w których pomiary były wykonywane na obu stacjach. Dla każdej stacji obliczono wielkość promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Ziemi w stosunku do stałej słonecznej oraz przedstawiono strukturę spektralną promieniowania. Ekstynkcja bezpośredniego promieniowania słonecznego została przedstawiona poprzez wskaźnik zmętnienia Linkego zredukowany do masy atmosfery równej 2 ($T_{L\text{AM}2}$). Średnio większym udziałem promieniowania słonecznego w porównaniu do stałej słonecznej w badanych dniach charakteryzowały się Mikołajki. Również średnia wartość wskaźnika zmętnienia Linkego wskazuje na mniejszą ekstynkcję promieniowania w Mikołajkach ($T_{L\text{AM}2} = 2,86$) w porównaniu z Warszawą ($T_{L\text{AM}2} = 3,19$). W przebiegu rocznym największe wartości $T_{L\text{AM}2}$ obserwowane były wiosną (Warszawa) lub latem (Mikołajki), a najmniejsze zimą (dla obu stacji). Stan optyczny atmosfery został zbadany także w zależności od rodzaju występujących mas powietrza. Dla wszystkich wyróżnionych mas powietrza większe zmętnienie wystąpiło w Warszawie w porównaniu z Mikołajkami. Cechą wspólną dla obu stacji było największe zmętnienie w masie zwrotnikowej, a najmniejsze w arktycznej, spośród mas polarnych największym zmętnieniem charakteryzowało się powietrze kontynentalne.

Słowa kluczowe: bezpośrednie promieniowanie słoneczne, wskaźnik zmętnienia Linkego, Warszawa, Mikołajki

*Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005-2008, projekt badawczy nr 2 P04E 012 28.

WSTĘP

Ilość energii dopływająca do powierzchni Ziemi wprost od tarczy słonecznej jest zależna od wielu czynników różnej natury. Przy założeniu stałej drogi promieni słonecznych przez atmosferę ziemską takim czynnikiem może być np. bliskość dużych zbiorników wodnych będących źródłem pary wodnej, jak również występowanie obszarów nieporośniętych roślinnością, z których wywiewane są pyły, potęgujące zmętnienie atmosfery. Są to czynniki naturalne, ale oprócz nich istotną rolę w kształtowaniu dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi ma także szeroko rozumiana działalność człowieka, w wyniku której zmienia się skład chemiczny atmosfery.

Celem opracowania jest poznanie różnic w dopływie bezpośredniego promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi w Warszawie i Mikołajkach. Zróżnicowanie warunków optycznych atmosfery dla tych dwóch stacji wynika z przyczyn zarówno naturalnych jak i antropogenicznych. Dość znaczne różnice w dopływie energii wprost od tarczy słonecznej mogą wystąpić nawet w miejscach leżących w stosunkowo niewielkiej odległości od siebie.

Zagadnienie ekstynkcji bezpośredniego promieniowania słonecznego było dotychczas podejmowane dla stacji leżących w różnych częściach Polski. Do tej pory ukazały się opracowania m.in. dla Bydgoszczy (Paszyński 1959), Warszawy (Dziewulska-Łosiowa 1962, Krawczyk 1968, Michałowska-Smak 1981, Uscka-Kowalkowska 2008), Belska i Kasprowego Wierchu (Michałowska-Smak 1981), Krakowa (Olecki 1992), Torunia (Wójcik i in. 1991), Papowa Toruńskiego (Uscka 2003, Uscka-Kowalkowska 2008), Puław (Uscka-Kowalkowska 2007, 2008), Mikołajek (Uscka-Kowalkowska 2007) i Kołobrzegu (Uscka-Kowalkowska 2008).

MATERIAŁ I METODA OPRACOWANIA

Materiał źródłowy do opracowania stanowiły wyniki pomiarów bezpośredniego promieniowania słonecznego wykonywanych w Mikołajkach i w Warszawie na stacji Bielany w latach 1960-2003. Dane te zostały udostępnione przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) w Warszawie.

Pomiary bezpośredniego promieniowania na polskiej sieci aktynometrycznej wykonywane są za pomocą aktynometru Linke-Feussnera. Przyrząd ten umożliwia pomiar w całym spektrum widma słonecznego i w wydzielonych jego zakresach. Do opracowania wybrano te serie, które były wykonywane w czasie górowania Słońca lub w odstępie do dwóch godzin od tego momentu w dobrych warunkach atmosferycznych (gdy w pobliżu tarczy słonecznej nie było chmur, a zachmurzenie nie było większe niż 6 w skali 0-10).

Ponieważ zasadniczym celem opracowania było porównanie warunków optycznych atmosfery w Warszawie i w Mikołajkach, do badań wybrano tylko te dni, w których pomiary były wykonywane na obu stacjach. Taka procedura mocno uszczupliła materiał badawczy, ale jednocześnie spowodowała, że możliwe jest pełne porównanie warunków optycznych w badanych stacjach.

Stacja w Warszawie ($\varphi = 52^{\circ}16'N$, $\lambda = 20^{\circ}59'E$, $h = 130$ m n.p.m.), reprezentuje obszar dużego miasta, w którym istotny wpływ na warunki optyczne atmosfery wywiera działalność człowieka. Druga z wybranych stacji to Mikołajki ($\varphi = 53^{\circ}47'N$, $\lambda = 21^{\circ}35'E$, $h = 127$ m n.p.m.), położone w rejonie czystym ekologicznie, gdzie należałoby się spodziewać małej ekstynkcji promieniowania.

Z całego dostępnego materiału badawczego dla Warszawy i Mikołajek wybrano 204 dni, w czasie których obie stacje były w zasięgu tej samej masy powietrza i na każdej z nich był wykonany pomiar. Najwięcej obserwacji przypadło na wiosnę (92) i lato (55), natomiast zdecydowanie mniej na zimę (32) i jesień (25).

W opracowaniu przedstawiono wielkość promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Ziemi w porównaniu do stałej słonecznej i strukturę spektralną promieniowania. Ekstynkcja bezpośredniego promieniowania słonecznego została wyrażona poprzez wskaźnik zmgętnienia Linkego sprowadzony do masy optycznej równej 2 (Grenier i in. 1994). Ważnym parametrem wpływającym na wielkość ekstynkcji bezpośredniego promieniowania słonecznego jest także zawartość wody opadowej w atmosferze (w), która została policzona na podstawie ciśnienia pary wodnej przy powierzchni Ziemi (Awierkijew, Jewniewicz 1973).

Zbadany został także związek stanu optycznego atmosfery z występującymi masami powietrza. Do tego celu posłużono się mapami synoptycznymi opublikowanymi przez IMGW (dawniej Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny – PIHM).

WYNIKI

Promieniowanie słoneczne dochodzące do powierzchni Ziemi jest osłabione w stosunku do tego na górnej granicy atmosfery. Dla każdego z wziętych do opracowania dni dla Warszawy i Mikołajek obliczono jaki procent stałej słonecznej dochodzi do powierzchni Ziemi. Następnie dla wydzielonych przedziałów masy optycznej atmosfery przedstawiono wartości średnie i najwyższe (tab. 1). Im krótsza droga promieni słonecznych w atmosferze, tym mniejsza ekstynkcja, i tym samym większy procent stałej słonecznej dociera do powierzchni Ziemi. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że dla wszystkich mas optycznych atmosfery średnio więcej energii dopływa w Mikołajkach w porównaniu z Warszawą.

Wartości te najbardziej różnią się dla masy optycznej atmosfery od 1,6 do 3,0, co odpowiada wysokości Słońca od około 19° do około 39° . Różnica dla klas obejmujących ten przedział masy optycznej atmosfery wynosi od 4,7% do 5,7%.

Tabela 1. Procent bezpośredniego promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi w stosunku do stałej słonecznej w Warszawie i Mikołajkach w wybranych dniach okresu 1960-2003

Table 1. Percentage of direct solar radiation reaching the surface of the Earth compared to the solar constant in Warsaw and Mikołajki on selected days of the period 1960-2003

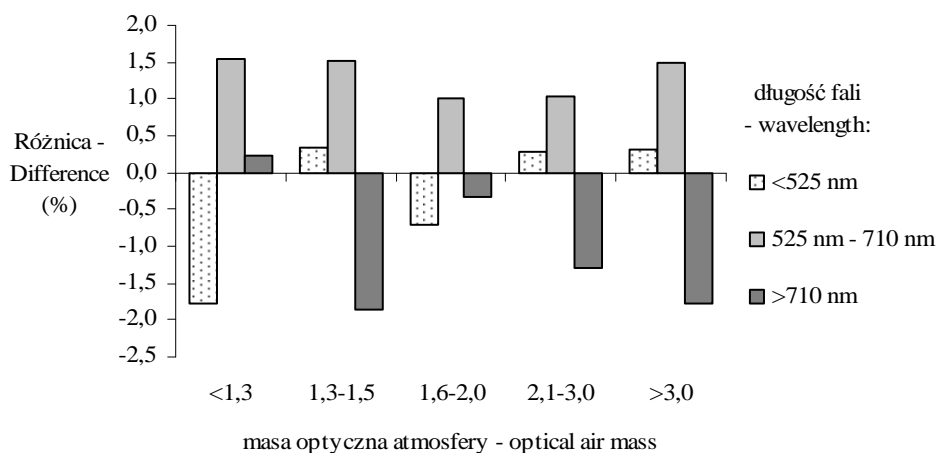
Masa atmosfery Optical air mass	Warszawa		Mikołajki		Warszawa-Mikołajki	
	śr. – mean	max	śr. – mean	max	śr. – mean	max
<1,3	62,0	70,4	63,5	78,5	-1,5	-8,1
1,3-1,5	59,2	67,7	61,5	70,2	-2,3	-2,5
1,6-2,0	56,7	69,4	61,4	73,3	-4,7	-3,9
2,1-3,0	49,6	62,1	55,3	60,7	-5,7	1,4
>3,0	43,9	53,5	47,6	55,6	-3,8	-2,1

W strukturze spektralnej promieniowania w Warszawie i Mikołajkach średnio ponad połowa energii przypada na fale o długości większej niż 710 nm, natomiast najmniej na fale o długości mniejszej niż 525 nm (tab. 2). W Warszawie w porównaniu z Mikołajkami obserwuje się nieco większy udział w spektrum fal o długości od 525 nm do 710 nm i nieznacznie mniejszy udział dwóch pozostałych przedziałów (rys. 1).

Tabela 2. Struktura spektralna (%) bezpośredniego promieniowania słonecznego w zależności od masy optycznej atmosfery w Warszawie (1) i Mikołajkach (2) w wybranych dniach okresu 1960-2003

Table 2. Spectral composition (%) of direct solar radiation, depending on the optical mass of the atmosphere in Warsaw (1) and Mikołajki (2) on selected days of the period 1960-2003

Masa atmosfery Optical air mass	$\lambda < 525$ nm			$525 \text{ nm} < \lambda < 710$ nm			$\lambda > 710$ nm		
	1	2	1-2	1	2	1-2	1	2	1-2
<1,3	22,1	23,9	-1,8	23,2	21,7	1,5	54,7	54,5	0,2
1,3-1,5	22,0	21,6	0,3	23,4	21,9	1,5	54,6	56,5	-1,9
1,6-2,0	19,4	20,1	-0,7	22,5	21,5	1,0	58,1	58,4	-0,3
2,1-3,0	18,1	17,8	0,3	20,8	19,8	1,0	61,1	62,4	-1,3
>3,0	13,7	13,4	0,3	20,1	18,6	1,5	66,3	68,1	-1,8
Średnia – Mean	20,3	20,7	-0,4	22,6	21,2	1,4	57,2	58,1	-1,0



Rys. 1. Różnice w strukturze spektralnej (%) bezpośredniego promieniowania słonecznego pomiędzy Warszawą a Mikołajkami dla wybranych dni okresu 1960-2003

Fig. 1. Differences in the spectral composition (%) of direct solar radiation between Warsaw and Mikołajki for selected days of the period 1960-2003

Do charakterystyki ilościowej ekstynkcji bezpośredniego promieniowania słonecznego w atmosferze został użyty wskaźnik zmętnienia Linkego sprowadzony do masy optycznej atmosfery równej 2 (T_{LAM2}). W badanych 204 dniach okresu 1960–2003 w Mikołajkach wskaźnik ten wyniósł średnio 2,86, natomiast w Warszawie 3,19. Jest to wynik jakiego należało oczekiwać zważywszy na stopień przekształcenia antropogenicznego bezpośredniego otoczenia obu stacji. Istotny statystycznie ($p < 0,01$) współczynnik korelacji zmętnienia atmosfery dla badanych stacji wyniósł 0,61 (tab. 3). Oznacza to, że mimo dużych różnic między stacjami zmętnienie atmosfery w swym przebiegu wieloletnim w badanych dniach wykazuje spore podobieństwo. Podobne porównanie przeprowadzono także dla zawartości wody opadowej w atmosferze (w) i tu korelacja (także istotna statystycznie) wyniosła 0,87 (tab. 3). Atmosfera nad Warszawą zawiera nieznacznie więcej wody w porównaniu z Mikołajkami, jednakże ten parametr został policzony przy użyciu bardzo prostej metody, stąd też uzyskany wynik należy traktować z pewną ostrożnością.

Wielkość korelacji wartości wskaźnika zmętnienia atmosfery i zawartości wody opadowej w atmosferze pomiędzy Warszawą a Mikołajkami zmienia się w zależności od pory roku (tab. 3). Największa korelacja w badanym zbiorze danych w przypadku T_{LAM2} wystąpiła na wiosnę i jesienią, natomiast najmniejsza

zimą. W przypadku zawartości wody opadowej w atmosferze (w) największa korelacja przypada również na przejściowe pory roku, a najmniejsza w tym przypadku na lato.

Tabela 3. Współczynnik korelacji ($p < 0,01$) wskaźnika zmętnienia Linkego ($T_{L\text{AM}2}$) i zawartości wody opadowej (w) w atmosferze w porach roku i w roku pomiędzy Warszawą a Mikołajkami w wybranych dniach okresu 1960-2003

Table 3. Correlation coefficient ($p < 0.01$) of Linke's turbidity factor ($T_{L\text{AM}2}$) and precipitable water content of the atmosphere (w) per seasons and over the year between Warsaw and Mikołajki for selected days of the period 1960-2003

Okres–Period	$T_{L\text{AM}2}$	w
Wiosna–Spring	0,68	0,80
Lato – Summer	0,55	0,67
Jesień – Autumn	0,65	0,84
Zima – Winter	0,48	0,69
Rok – Year	0,61	0,87

Z analizy statystycznej przebiegu wskaźnika zmętnienia Linkego ($T_{L\text{AM}2}$) i zawartości wody opadowej w atmosferze (w) wynika, że dla badanych 204 dni parametry te są bardziej skorelowane w Mikołajkach (0,61) niż w Warszawie (0,41). Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można podejrzewać, że w Mikołajkach para wodna w większym stopniu wpływa na zmiany zmętnienia atmosfery niż aerozol, a w Warszawie jest odwrotnie. Spośród pór roku (tab. 4) dodatnia i istotna statystycznie korelacja pomiędzy $T_{L\text{AM}2}$ i w występuje wiosną latem i jesienią, przyjmując największe wartości latem dla Warszawy a wiosną dla Mikołajek. Zima jest jedyną porą roku, w której korelacja dla obu stacji jest ujemna, jednakże nie jest ona istotna statystycznie. Jak wiadomo wielkość zmętnienia atmosfery kształtowana jest zarówno przez zawartość w niej wody opadowej jak i aerozolu. Uzyskany wynik świadczy o dominującym wpływie aerozolu na stan optyczny atmosfery zimą. Najprawdopodobniej jest to aerozol dostający się do atmosfery wskutek intensywnego ogrzewania o tej porze roku. W czasie pogody wyżowej, przy bardzo niskiej temperaturze i wilgotności powietrza ogrzewanie jest intensywniejsze, przez co do atmosfery dostaje się więcej aerozolu niż w czasie pogody niżowej, z wyższymi temperaturami, ale i z większą zawartością pary wodnej w powietrzu.

Tabela 4. Współczynnik korelacji pomiędzy wskaźnikiem zmętnienia Linkego (T_{LAM2}) a zawartością wody opadowej (w) w atmosferze w porach roku i w roku w Warszawie i Mikołajkach w wybranych dniach okresu 1960-2003¹

Table 4. Correlation coefficient between Linke's turbidity factor (T_{LAM2}) and precipitable water content of the atmosphere (w) per seasons and over the year in Warsaw and Mikołajki for selected days of the period 1960-2003¹

Okres – Period	Warszawa	Mikołajki
Wiosna–Spring	0,51	0,66
Lato – Summer	0,59	0,57
Jesień – Autumn	0,45	0,41
Zima – Winter	-0,24	-0,04
Rok – Year	0,41	0,61

¹ – wartości istotne statystycznie na poziomie co najmniej 0,05 zostały pogrubione – values statistically significant at the 0.05 level are given in bold.

W przebiegu rocznym wskaźnika zmętnienia atmosfery (tab. 5) największe wartości obserwuje się wiosną (Warszawa) lub latem (Mikołajki), a najmniejsze zimą (dla obu stacji). W przypadku zawartości wody opadowej w atmosferze zdecydowanie największe wartości notowane są latem, a najmniejsze zimą. Taki przebieg – z największymi wartościami zmętnienia atmosfery i zawartości wody opadowej w okresie ciepłym i z najmniejszymi w chłodnym – notowany był także w wielu innych miejscach w Polsce i na świecie.

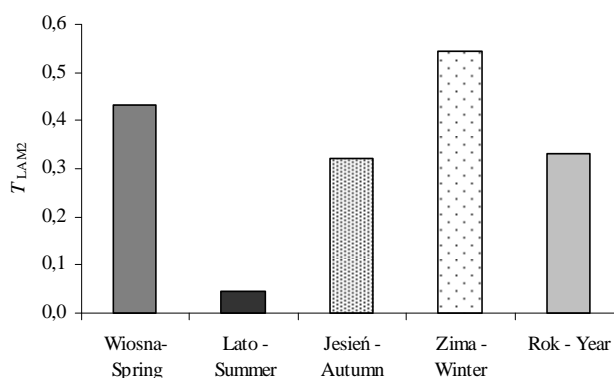
Tabela 5. Wskaźnik zmętnienia Linkego (T_{LAM2}) i zawartość wody opadowej w atmosferze (w) w porach roku i w roku w Warszawie i Mikołajkach w wybranych dniach okresu 1960-2003

Table 5. Linke's turbidity factor (T_{LAM2}) and precipitable water content of the atmosphere (w) per seasons and over the year in Warsaw and Mikołajki for selected days of the period 1960-2003

Stacja Station	Wiosna Spring	Lato Summer	Jesień Autumn	Zima Winter	Rok Year
T_{LAM2}					
Warszawa	3,31	3,29	2,94	2,88	3,19
Mikołajki	2,88	3,24	2,62	2,33	2,86
w					
Warszawa	1,12	2,09	1,46	0,53	1,33
Mikołajki	1,09	2,00	1,39	0,50	1,28

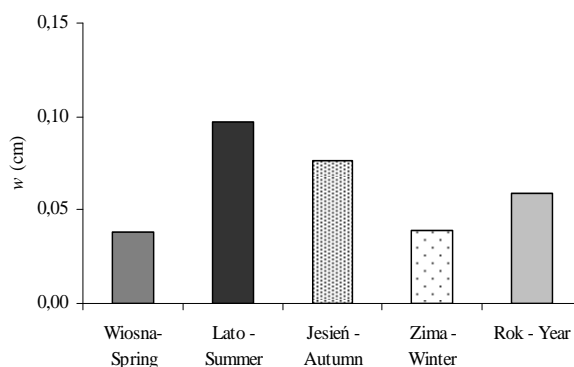
Jak podano wcześniej średnio w roku większe zmętnienie atmosfery wystąpiło w Warszawie w porównaniu z Mikołajkami. Relacja ta jest taka sama w przy-

padku gdy analizie poddane zostaną pory roku. W badanym zbiorze danych największe różnice na korzyść Mikołajek widoczne są dla zimy, natomiast zupełnie nieznaczne różnice wystąpiły latem (rys. 2). Jest to wynik jakiego należało się spodziewać, gdyż z reguły największa emisja zanieczyszczeń do atmosfery ma miejsce zimą, w czasie sezonu grzewczego. W przypadku zawartości wody opadowej w atmosferze dla wszystkich pór roku i dla roku większe jej wartości występują w Warszawie, jednakże wyraźnie największe różnice przypadają na lato i jesień, a najmniejsze na wiosnę i zimę (rys. 3).



Rys. 2. Różnice w wielkości wskaźnika zmętnienia Linkego (T_{LAM2}) w porach roku i w roku pomiędzy Warszawą a Mikołajkami w wybranych dniach okresu 1960-2003

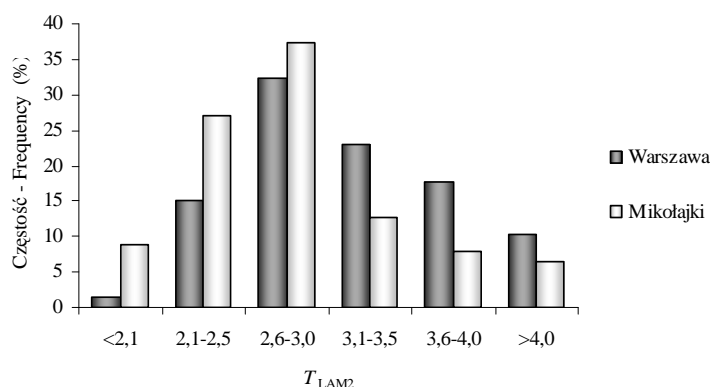
Fig. 2. Differences in Linke's turbidity factor (T_{LAM2}) per seasons and over the year between Warsaw and Mikołajki for selected days of the period 1960-2003



Rys. 3. Różnice w zawartości wody opadowej w atmosferze (w) w porach roku i w roku pomiędzy Warszawą a Mikołajkami w wybranych dniach okresu 1960-2003

Fig. 3. Differences in the perceptible water content of the atmosphere (w) per seasons and over the year between Warsaw and Mikołajki for selected days of the period 1960-2003

Wszystkie obserwacje wskaźnika zmętnienia Linkego zostały podzielone na klasy w oparciu o klasy zmętnienia zaproponowane przez Siwkowa (1968). W przypadku obu stacji największą częstością charakteryzowała się klasa o normalnym stopniu zmętnienia (2,6-3,0), na którą przypadło 32,4% obserwacji w Warszawie i 37,3% w Mikołajkach (rys. 4). W Warszawie w porównaniu z Mikołajkami mniejszą częstością charakteryzują się klasy o mniejszym od normalnego stopniu zmętnienia, a większą te przekraczające stan normalny. Cechą charakterystyczną rozkładu częstości $T_{L\text{AM}2}$ w Mikołajkach jest bardzo duży udział klasy o bardzo małym (<2,1) i małym (2,1-2,5) stopniu zmętnienia, gdyż łącznie przypada na nie ponad jedna trzecia obserwacji, natomiast na dwie najwyższe klasy przypada ich mniej niż 15%.



Rys. 4. Częstość występowania (%) wskaźnika zmętnienia Linkego ($T_{L\text{AM}2}$) w wydzielonych przedziałach w Warszawie i Mikołajkach w wybranych dniach okresu 1960-2003

Fig. 4. Frequency of occurrence (%) of atmospheric turbidity ($T_{L\text{AM}2}$) in selected classes in Warsaw and Mikołajki for selected days of the period 1960-2003

Rozpatrując rozkład częstości $T_{L\text{AM}2}$ w poszczególnych porach roku można zauważyć, że w większości pór dominuje klasa o normalnym stopniu zmętnienia (tab. 6). Wyjątek stanowi jedynie zima w Mikołajkach, kiedy to maksimum częstości przesuwa się na klasę o małym stopniu zmętnienia, na którą przypada prawie 60% obserwacji.

Ważnym czynnikiem wpływającym na ekstynkcję bezpośredniego promieniowania słonecznego jest rodzaj mas powietrza zalegających nad danym obszarem. Dlatego też dla wszystkich badanych dni, na podstawie map synoptycznych opublikowanych przez PIHM (1960-1973), a następnie przez IMGW (1974-2003), określono rodzaje mas powietrza zalegających nad Warszawą i Mikołajkami. Ze względu na małą częstość niektórych rodzajów mas powietrza zostały one przyporządkowane do pięciu typów (tab. 7). Największą częstością w badanym zbiorze danych charaktery-

zowały się masy polarno-kontynentalne, na które przypadło aż 40,7% obserwacji. Na masy arktyczne i wszystkie pozostałe masy polarno-morskie przypadło po ponad jednej czwartej obserwacji. Masy zwrotnikowe stanowiły zaś zaledwie 2,9% całego zbioru danych. Uzyskana struktura częstości poszczególnych mas powietrza odbiega od analogicznej struktury, gdyby badania takie objęły wszystkie dni całego okresu 1960-2003. Na podstawie badań przeprowadzonych przez Więćława (2004) dla okresu 1971-1995 można zauważyć, że w analizowanym zbiorze danych większą częstością charakteryzują się masy arktyczne, dużo więcej wystąpiło mas polarno-kontynentalnych, natomiast około dwa razy mniej mas polarno-morskich. Masy zwrotnikowe w każdym przypadku mają znikomy udział procentowy. Taki wynik nie jest zaskakujący – ponieważ masy arktyczne i polarno-kontynentalne charakteryzują się mniejszym zachmurzeniem niż masy polarno-morskie, stąd też ich udział w dniach badań aktynometrycznych w naturalny sposób musi być większy.

Tabela 6. Częstość występowania (%) wskaźnika zmętnienia Linkego ($T_{L\text{AM}2}$) w poszczególnych porach roku w wydzielonych przedziałach w Warszawie (1) i Mikołajkach (2) w wybranych dniach okresu 1960-2003

Table 6. Frequency of occurrence (%) of atmospheric turbidity ($T_{L\text{AM}2}$) in individual seasons in selected classes in Warsaw (1) and Mikołajki (2) for selected days of the period 1960-2003

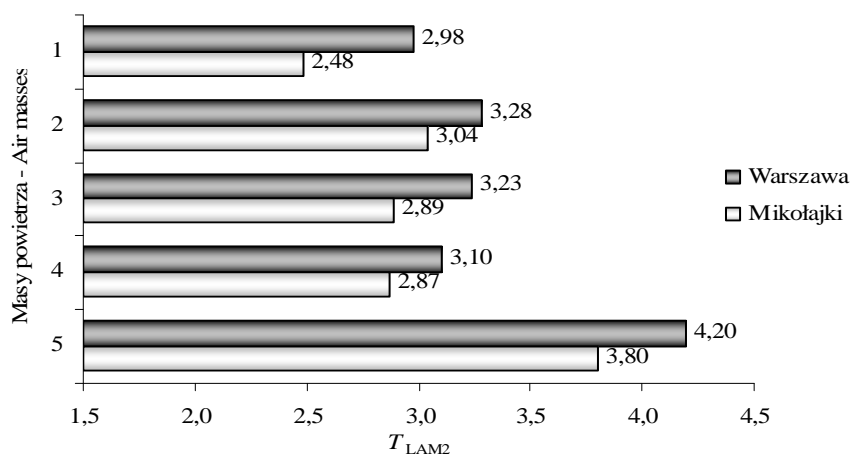
$T_{L\text{AM}2}$	Wiosna – Spring		Lato – Summer		Jesień – Autumn		Zima – Winter	
	1	2	1	2	1	2	1	2
<2,1	2,2	12,0	0,0	1,8	0,0	4,0	3,1	15,6
2,1–2,5	12,0	21,7	9,1	10,9	28,0	40,0	25,0	59,4
2,6–3,0	27,2	35,9	36,4	41,8	32,0	52,0	40,6	21,9
3,1–3,5	23,9	13,0	21,8	21,8	28,0	4,0	18,8	3,1
3,6–4,0	20,7	10,9	23,6	10,9	8,0	0,0	6,3	0,0
>4,0	14,1	6,5	9,1	12,7	4,0	0,0	6,3	0,0

Tabela 7. Częstość występowania poszczególnych rodzajów mas powietrza w Warszawie i Mikołajkach w wybranych dniach okresu 1960-2003

Table 7. Frequency of occurrence of various types of air masses over Warsaw and Mikołajki for selected days of the period 1960-2003

Masy powietrza – Air masses	n	%
Arktyczne – Arctic	57	27,9
Polarno-kontynentalne – Polar continental	83	40,7
Polarno-morskie – Polar maritime	29	14,2
Polarno-morskie stare – Polar maritime old	29	14,2
Zwrotnikowe – Tropical	6	2,9

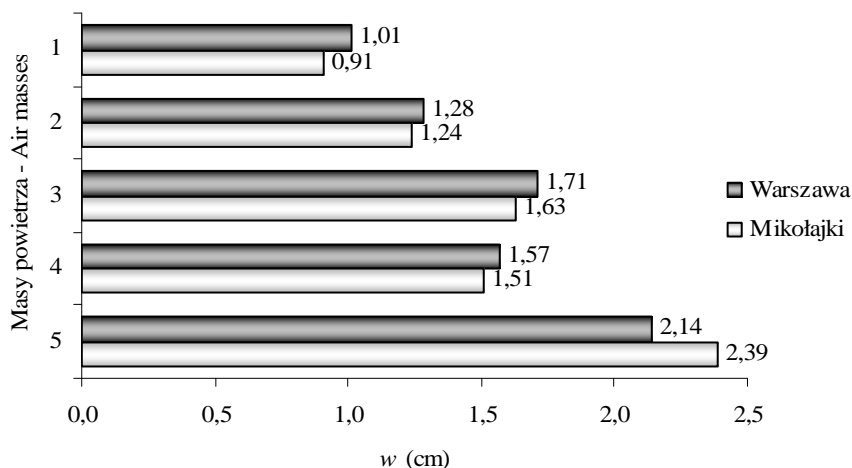
Dla wszystkich badanych mas powietrza większe zmętnienie atmosfery wystąpiło w Warszawie w porównaniu z Mikołajkami (rys. 5). Cechą wspólną dla obu stacji jest największe zmętnienie w masie zwrotnikowej, a najmniejsze w arktycznej. Podobieństwo w relacjach zmętnienia atmosfery widoczne jest również w przypadku mas polarnych. Na obu stacjach największą ekstynkcję promieniowania powodują masy polarno-kontynentalne, a najmniejszą polarno-morskie stare. W przypadku mas polarno-morskich wielkość wskaźnika $T_{L\text{AM}2}$ w Warszawie jest zbliżona do mas polarno-kontynentalnych, a w Mikołajkach do mas polarno-morskich starych.



Rys. 5. Zmętnienie atmosfery ($T_{L\text{AM}2}$) w poszczególnych masach powietrza w Warszawie i Mikołajkach w wybranych dniach okresu 1960-2003. Masy powietrza: 1 – Arktyczne, 2 – Polarno-kontynentalne, 3 – Polarno-morskie, 4 – Polarno-morskie stare, 5 – Zwrotnikowe

Fig. 5. Atmospheric turbidity ($T_{L\text{AM}2}$) in individual air masses over Warsaw and Mikołajki for selected days of the period 1960-2003. Air masses: 1 – Arctic, 2 – Polar continental, 3 – Polar maritime, 4 – Polar maritime old, 5 – Tropical

Masy arktyczne i polarne charakteryzują się zbliżoną lub nieco większą zawartością wody opadowej w atmosferze w Warszawie w porównaniu z Mikołajkami. Jedynie w masach zwrotnikowych średnio więcej wody opadowej jest w Mikołajkach (rys. 6). Relacje między zasobami wilgoci w różnych masach powietrza dla obu stacji są bardzo podobne. Zdecydowanie najbardziej wilgotne jest powietrze zwrotnikowe. Spośród mas polarnych najwilgotniejsze są masy morskie, natomiast najmniej wilgoci spośród wszystkich mas powietrza niosą ze sobą masy arktyczne, co prawdopodobnie może mieć związek z ich stosunkowo niską temperaturą.



Rys. 6. Zawartość wody opadowej (w) w poszczególnych masach powietrza w Warszawie i Mikołajkach w wybranych dniach okresu 1960-2003

Masy powietrza: 1 – Arktyczne, 2 – Polarno-kontynentalne, 3 – Polarno-morskie, 4 – Polarno-morskie stare, 5 – Zwrotnikowe

Fig. 6. Precipitable water content in the atmosphere (w) in individual air masses over Warsaw and Mikołajki for selected days of the period 1960-2003

Air masses: 1 – Arctic, 2 – Polar continental, 3 – Polar maritime, 4 – Polar maritime old, 5 – Tropical

PODSUMOWANIE

W opracowaniu porównano wielkość bezpośredniego promieniowania słonecznego i stan optyczny atmosfery dla dwóch stacji leżących w nizinnej części Polski. Stacja w Warszawie reprezentuje środowisko miejskie z dużą emisją zanieczyszczeń do atmosfery, natomiast stacja w Mikołajkach rejon czysty ekologicznie. Jak należało się spodziewać większy dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego wystąpił w Mikołajkach w porównaniu z Warszawą. Lepszy stan optyczny atmosfery w Mikołajkach przejawia się większym dopływem bezpośredniego promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi w stosunku do stałej słonecznej, mniejszymi wartościami wskaźnika zmętnienia Linkego oraz mniejszą zawartością wody opadowej w atmosferze.

Różnice wielkości ekstynkcji promieniowania mogły zostać wywołane przez szczególne cechy położenia wybranych do opracowania stacji. W przypadku Warszawy ważnym czynnikiem jest na pewno silne przekształcenie antropogeniczne, które powoduje zmianę składu chemicznego atmosfery i zwiększenie ekstynkcji promieniowania. W Mikołajkach brak lokalnych silnych źródeł zanie-

czyszczenia atmosfery, co powoduje że wielkość wskaźnika zmętnienia jest tam zdecydowanie niższa.

Parametry wybrane do analizy stanu optycznego atmosfery (wskaźnik zmętnienia Linkego i zawartość wody opadowej w atmosferze) są w większym stopniu skorelowane w Mikołajkach (0,61) niż w Warszawie (0,41). Uzyskane wyniki wskazują, że w Mikołajkach para wodna w większym stopniu wpływa na zmiany zmętnienia atmosfery niż aerozol, podczas gdy w Warszawie jest odwrotnie.

W opracowaniu przedstawiono także zagadnienie stanu optycznego atmosfery w różnych masach powietrza. Jak należało się spodziewać, wszystkie masy powietrza charakteryzują się większym wskaźnikiem zmętnienia w Warszawie niż w Mikołajkach. Jednakże relacje między warunkami optycznymi atmosfery w masach powietrza na obu stacjach są podobne. Największym zmętnieniem atmosfery w badanym okresie charakteryzowało się powietrze zwrotnikowe, a najmniejszym arktyczne. Spośród mas polarnych największe zmętnienie wystąpiło w powietrzu kontynentalnym.

PIŚMIENNICTWO

- Awierkijew M.S., Jewniewicz T.W., 1973. Opriedielenije aerolnoji i wlażnoj mutnosti rialnoji atmosfery. *Mieteorologija i Gidrologija*, 53-58.
- Biuletyn Synoptyczny, 1960-1973, Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny, Warszawa, 1974-1978, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Codzienny Biuletyn Meteorologiczny, 1979-2003, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Dziewulska-Łosiowa A., 1962. Próba oceny zakłócenia przezroczystości atmosfery w Warszawie. *Przegląd Geofiz.*, VII, z. 2, 111-116.
- Grenier J.C., de La Casinière A., Cabot T., 1994. A spectral model of Linke's turbidity factor and its experimental implications. *Solar Energy*, 52, 303-313.
- Krawczyk B., 1968. Badania zmętnienia atmosfery w Warszawie w latach 1961-1963. *Przegl. Geofiz.*, t. XI, z. 4, 823-832.
- Michałowska-Smak A., 1981. Seasonal and secular changes of atmospheric turbidity in Warsaw and Belsk in the interval 1957-1980. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., D - 13 (149)*, 115-131.
- Olecki Z., 1992. Przezroczystość atmosfery w krakowskiej aglomeracji miejsko-przemysłowej. *Zesz. Nauk. UJ, nr MXLII, Pr. Geogr.*, z. 90, 23-34.
- Paszyński J., 1959. Wstępne wyniki badania przezroczystości atmosfery w Bydgoszczy. *Przegl. Geofiz.*, R. 4, z. 2, 107 - 120.
- Siwkow S.I., 1968. *Mietody rasczeta charakteristik sołniecznoj radiacyi*. Gidromieteoizdat, Lenin-grad.
- Uscka J., 2003. Direct solar radiation and its attenuation by the atmosphere with different air masses in the suburban area of Toruń. (w:) *Acta Universitatis Wratislaviensis, No 2542, Studia Geograficzne 75*, Wrocław, 268 - 281.
- Uscka-Kowalkowska J., 2007. Bezpośrednie promieniowanie słoneczne i zmętnienie atmosfery w Mikołajkach w dekadach 1971-1980 i 1991-2000. *Międzynarodowa Konferencja Naukowa*

- „Klimat ziem polskich w czasach historycznych na tle klimatu Europy”, Streszczenia referatów i posterów, Toruń, 11-13 października 2007, 103-104. 51.
- Uscka-Kowalkowska J., 2007. Ekstynkcja bezpośredniego promieniowania słonecznego w Puławach w latach 1969-1989. Pamiętnik Puławski, 144, 131-143
- Uscka-Kowalkowska J., 2008. Bezpośrednie promieniowanie słoneczne i jego ekstynkcja w atmosferze na przykładzie Puław i Papowa Toruńskiego. Wydawnictwo Naukowe, UMK.
- Uscka-Kowalkowska J., 2008. Bezpośrednie promieniowanie słoneczne i jego ekstynkcja w atmosferze w Kołobrzegu w latach 1960-2000. Acta Agrophysica, 12(1), 221-233.
- Uscka-Kowalkowska J., 2008. Direct solar radiation and its extinction by the atmosphere in Warsaw in the years 1960-2003. (w:) Kłysik K., Wibig J., Fortuniak K. (red.) Klimat i bioklimat miast, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Katedra Meteorologii i Klimatologii UŁ, Łódź, 143-156.
- Więclaw M., 2004. Masy powietrza nad Polską i ich wpływ na typy pogody. Wyd. Akademii Bydgoskiej, Bydgoszcz.
- Wójcik G., Marciniak K., Ziemińska H., 1991. Transparency of atmosphere and intensity of direct solar radiation and its spectral composition in the summer of 1983 in Toruń. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 396, 187-193.

COMPARISON OF DIRECT SOLAR RADIATION AND ITS ATMOSPHERIC EXTINCTION IN WARSAW AND MIKOŁAJKI ¹

Joanna Uscka-Kowalkowska

Department of Climatology, Institute of Geography, Nicolaus Copernicus University
ul. Gagarina 9, 87-100 Toruń
e-mail: joanna@geo.uni.torun.pl

Abstract. The present study makes a comparison of the amount of direct solar radiation and its extinction in Warsaw and in Mikołajki. The input material was sourced from the results of measurements recorded by the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW) in the years 1960-2003. In this study, only those days are considered when the measurements were taken at both stations. For each station, the amount of solar radiation reaching the surface of the Earth was determined in relation to the solar constant and the spectral composition of the radiation was presented. The extinction of direct solar radiation was expressed by means of Linke's turbidity factor reduced to the atmospheric mass of 2 (T_{LAM2}). The average amount of solar radiation in relation to the solar constant recorded for the reference period was bigger in Mikołajki. Also, the mean turbidity factor indicates a smaller extinction in Mikołajki ($T_{LAM2} = 2.86$) when compared to Warsaw ($T_{LAM2} = 3.19$). In an annual course, the highest values of T_{LAM2} are observed in spring (Warsaw) or summer (Mikołajki), and the lowest in winter (at both stations). The optical state of the atmosphere was also evaluated depending on the type of prevailing air masses. For all distinguished air masses, the atmospheric turbidity was bigger in Warsaw than in Mikołajki. It is a characteristic feature of both stations that the highest turbidity occurred in tropical air masses and the lowest in arctic air masses. The continental type came out as the most turbid of all polar masses.

Keywords: direct solar radiation, Linke's turbidity factor, Warsaw, Mikołajki

¹The research was funded by a grant obtained from the State Committee for Scientific Research for 2005-2008 (grant No. 2 P04E 012 28).