

BEZPOŚREDNIE PROMIENIOWANIE SŁONECZNE  
I JEGO EKSTYNKCJA W ATMOSFERZE  
W KOŁOBRZEGU W LATACH 1960-2000\*

*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 przedstawiono zmiany w dopływie bezpośredniego promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi oraz zmętnienie atmosfery w Kołobrzegu w latach 1960-2000. Dane do opracowania zostały udostępnione przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie. Najwyższe wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego występują zwykle na wiosnę, co miało miejsce także w przypadku Kołobrzegu, gdzie w dniu 30.03.1960 r. zmierzona została wartość promieniowania równa  $1005,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Ekstynkcję bezpośredniego promieniowania słonecznego wyrażono poprzez wskaźnik zmętnienia Linkego sprowadzony do masy optycznej atmosfery równej 2 ( $T_{\text{LAM}2}$ ). Jego średnia wartość w badanym okresie wyniosła 3,31, a w przebiegu rocznym osiągnęła maksimum latem (3,44), natomiast minimum zimą (3,00). Przebieg roczny zmętnienia atmosfery w Kołobrzegu jest przebiegiem typowym, obserwowanym także w wielu innych miejscach, gdzie wykonywano tego typu badania. Na stan optyczny atmosfery wpływają także występujące masy powietrza. W badanym okresie w Kołobrzegu najczystsze były masy arktyczne ( $T_{\text{LAM}2} = 2,83$ ), natomiast największe zmętnienie atmosfery powodowały masy zwrotnikowe ( $T_{\text{LAM}2} = 4,53$ ). Masy polarno-morskie stare i polarno-kontynentalne charakteryzowały się zbliżonym stopniem zmętnienia ( $T_{\text{LAM}2}$  wyniosło odpowiednio 3,42 i 3,49), natomiast nieco czystsze były masy polarno-morskie ( $T_{\text{LAM}2} = 3,28$ ).

**Słowa kluczowe:** bezpośrednie promieniowanie słoneczne, wskaźnik zmętnienia Linkego, Kołobrzeg

WSTĘP

Bezpośrednie promieniowanie słoneczne, jako jedna ze składowych bilansu promieniowania, wywiera istotny wpływ na procesy kształtujące pogodę danego obszaru. Ilość energii docierająca bezpośrednio od tarczy słonecznej jest zależna od

---

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

wielu czynników, zarówno tych naturalnych jak i antropogenicznych. Czynniki te działając łącznie powodują, że w atmosferze obok jej stałych składników znajduje się także aerozol i para wodna. Ich działanie wywołuje ekstynkcję, czyli osłabienie promieniowania słonecznego. Im większa zawartość w atmosferze cząstek rozpraszających i absorbujących promieniowanie bezpośrednie, tym mniej dociera go do powierzchni Ziemi w stosunku do tego, na górnej granicy atmosfery. Wielkość promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi w istotny sposób kształtuje także warunki bioklimatyczne danego obszaru, dlatego też poznanie tego elementu klimatu wydaje się być szczególnie ważne, zwłaszcza w miejscach, które pełnią funkcje turystyczne czy uzdrowiskowe.

Celem opracowania jest poznanie zmian w dopływie bezpośredniego promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi w Kołobrzegu. Będzie to pierwsze tego typu opracowanie dla tej stacji. Problem ekstynkcji bezpośredniego promieniowania słonecznego nie jest zbyt często podejmowany w polskiej literaturze klimatologicznej. Do tej pory ukazały się opracowania tego zagadnienia m.in. dla Bydgoszczy (Paszyński 1959), Warszawy (Dziewulska-Łosiowa 1962, Krawczyk 1968, Michałowska-Smak 1981, Uscka-Kowalkowska 2007), Belska i Kasprowego Wierchu (Michałowska-Smak 1981), Krakowa (Olecki 1992), Torunia (Wójcik i in. 1991), Papowa Toruńskiego (Uscka 2003), Puław (Uscka-Kowalkowska 2007) i Mikołajek (Uscka-Kowalkowska 2007).

#### MATERIAŁ I METODA OPRACOWANIA

Opracowanie wykonano na podstawie wyników pomiarów bezpośredniego promieniowania słonecznego wykonywanych w Kołobrzegu w latach 1960-2000. Dane do opracowania zostały udostępnione przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie. Stacja aktynometryczna IMGW w Kołobrzegu zlokalizowana jest w punkcie o współrzędnych  $\varphi = 54^{\circ}11'N$  i  $\lambda = 15^{\circ}35'E$  na wysokości 16 m n.p.m. w uzdrowiskowej części miasta, w odległości około 800 m od morza. W bezpośrednim sąsiedztwie stacji znajduje się zwarta, jednorodzinna zabudowa.

Pomiary były wykonywane aktynometrem Linke-Feussnera w całym spektrum widma słonecznego. Do opracowania wybrano te serie, które były wykonywane w godzinach okołopołudniowych, tzn. w czasie górowania Słońca lub w niewielkim czasowo odstępnie od tego momentu (do pół godziny). Ponieważ celem pracy było zbadanie ekstynkcji atmosferycznej przy dobrych warunkach pogodowych, do opracowania wybrano serie pomiarowe wykonywane wtedy, gdy w pobliżu tarczy słonecznej nie było chmur.

W opracowaniu przedstawiono najwyższe wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego oraz procent stałej słonecznej jaka dochodzi do powierzchni Ziemi po przejściu różnej liczby mas optycznych atmosfery. Ekstynkcję atmos-

feryczną przedstawiono za pomocą wskaźnika zmętnienia Linkego ( $T_L$ ), który pokazuje ile razy większe osłabienie promieniowania słonecznego powoduje atmosfera rzeczywista, w porównaniu do atmosfery czystej i suchej. Wskaźnik ten jest popularną miarą ekstynkcji atmosferycznej, która uwzględnia działanie zarówno pary wodnej jak i aerozolu. Jest on jednakże zależny od zmiany składu spektralnego promieniowania słonecznego przechodzącego przez atmosferę o różnej grubości. Powoduje to zmianę jego wartości w przebiegu dziennym czy rocznym nawet przy stałych warunkach optycznych atmosfery. Aby wyeliminować tę niedogodność zwykle sprowadza się go do masy optycznej równej 2, która odpowiada wysokości Słońca nad horyzontem równej  $30^\circ$ . W związku z tym w prezentowanym opracowaniu wskaźnik zmętnienia został sprowadzony do masy optycznej równej 2, a do tego celu posłużono się metodyką zaproponowaną przez Greniera i in. (1994). Zawartość wody opadowej w atmosferze potrzebną do konwersji wskaźnika zmętnienia Linkego ( $T_L$ ), na wskaźnik przy masie optycznej atmosfery równej 2 ( $T_{LAM2}$ ), policzono na podstawie ciśnienia pary wodnej przy powierzchni Ziemi (Awierkijew, Jewniewicz 1973).

Ponieważ na stopień ekstynkcji bezpośredniego promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi mają wpływ występujące masy powietrza, zbadano również zależność między wielkością wskaźnika zmętnienia Linkego a rodzajem mas powietrza. Do tego celu posłużono się mapami synoptycznymi opublikowanymi przez IMGW (dawniej PIHM).

Do opracowania wykorzystano łącznie 1340 dni, z których najwięcej przypada na lato (488) i wiosnę (445), natomiast najmniej na jesień – zaledwie 193 i zimę – 214. Zwykle jest tak, że w półroczu ciepłym, ze względu na mniejsze zachmurzenie, częściej występują dobre warunki sprzyjające pomiarom aktywnym, niż w półroczu chłodnym. Aby pokazać zmiany w dopływie bezpośredniego promieniowania słonecznego w czasie, cały okres badawczy dla Kołobrzegu podzielono na cztery podokresy. Z różnych przyczyn charakteryzują się one niejednakową liczbą serii pomiarowych. W analizowanym okresie brak serii pomiarowych dla lat 1961-1963. Najbogatszy materiał pomiarowy został zgromadzony w drugim okresie obejmującym lata 1971-1980, natomiast zdecydowanie najmniej serii pomiarowych przypadło na okres ostatni, tzn. lata 1991-2000.

## WYNIKI

Największy dopływ promieniowania wprost od tarczy słonecznej obserwuje się z reguły na wiosnę, kiedy wysokości Słońca nad horyzontem są duże, a przezroczystość atmosfery jest wyższa niż latem, gdyż w powietrzu jest mniej aerozolu i pary wodnej. Taka prawidłowość znajduje również potwierdzenie w badanym okresie w Kołobrzegu, gdzie najwyższa zmierzona wartość bezpośredniego promieniowania słonecznego wystąpiła w dniu 30.03.1960 r. i wyniosła  $1005,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  (tab. 1).

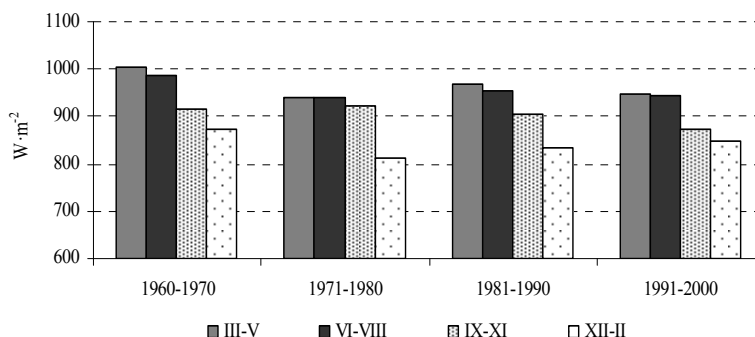
**Tabela 1.** Najwyższe zmierzone wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego ( $I_N$ ) w Kołobrzegu w wydzielonych okresach lat 1960-2000

**Table 1.** Highest values of direct solar radiation ( $I_N$ ) measured in Kołobrzeg in selected periods of the years 1960-2000

Lata – Years	$I_N$ ( $W \cdot m^{-2}$ )	Data – Date	Masy powietrza – Air masses*
1960-1970	1005,5	30.03.1960 r.	PAs – Ao
1971-1980	942,0	13.05.1980 r., 17.06.1973 r.	PAs – Ao
1981-1990	968,3	09.04.1990 r.	PAs – Ao
1991-2000	949,0	17.03.1997 r.	PAm – Am

\* – PAm – powietrze arktyczne morskie, Am – arctic maritime air mass; PAs – powietrza arktyczne stare, Ao – arctic old air mass.

Czynnikiem sprzyjającym występowaniu najwyższych wartości promieniowania wiosną jest także zwiększony o tej porze roku napływ arktycznych mas powietrza, które są z reguły masami o dużej przezroczystości. W przebiegu rocznym oprócz wiosny wysokie wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego notuje się także latem, czyli w okresie o najwyższych wysokościach Słońca nad horyzontem. Zdecydowanie najmniejsze wartości obserwowane są zimą, co ma związek z małymi wysokościami Słońca nad horyzontem o tej porze roku (rys. 1).



**Rys. 1.** Najwyższe zmierzone wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego ( $I_N$ ) w poszczególnych porach roku w Kołobrzegu w wydzielonych okresach lat 1960-2000

**Fig 1.** Highest values of direct solar radiation ( $I_N$ ) measured in Kołobrzeg in different seasons in selected periods of the years 1960-2000

W zależności od wysokości Słońca nad horyzontem zmienia się procent stałej słonecznej jaka dochodzi danego dnia do powierzchni Ziemi. Wszystkie obserwacje zostały podzielone na 5 klas w zależności od wielkości masy optycznej atmosfery, która jest warunkowana wysokością Słońca nad horyzontem (tab. 2). Masa

optyczna równa 1,6 odpowiada wysokości Słońca około  $39^\circ$ , natomiast przy wysokości Słońca około  $19^\circ$  jest ona równa 3,0. Im mniejsza masa optyczna atmosfery, tym oczywiście większy dopływ promieniowania słonecznego. W wydzielonych klasach dla Kołobrzegu waha się on średnio od 39,0% stałej słonecznej dla masy atmosfery powyżej 3 do 60,5% dla masy atmosfery poniżej 1,6. Najwyższe wartości, zarówno maksymalne, jak i średnie przypadły głównie na początek (1960-1970) oraz częściowo na koniec (1991-2000) badanego okresu.

**Tabela 2.** Procent bezpośredniego promieniowania słonecznego ( $I_N$ ) docierającego do powierzchni Ziemi w stosunku do stałej słonecznej ( $I_{SC}E_0$ ) w Kołobrzegu w wydzielonych okresach lat 1960-2000

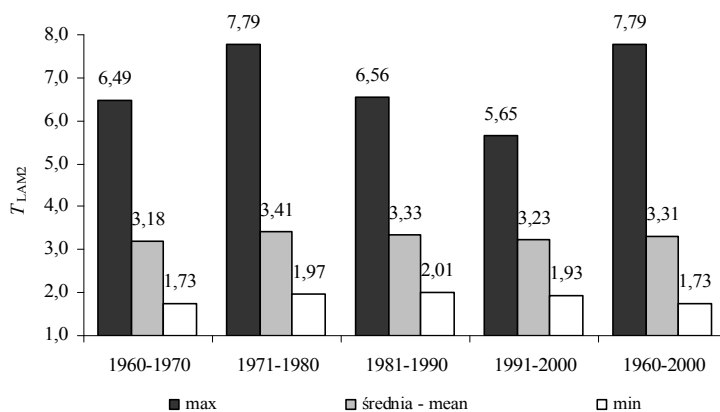
**Table 2.** Percentage of direct solar radiation ( $I_N$ ) reaching the surface of the Earth compared to the solar constant ( $I_{SC}E_0$ ) in Kołobrzeg in selected periods of the years 1960-2000

Masa optyczna atmosfery Optical air mass	$I_N \cdot (I_{SC}E_0)^{-1} \cdot 100\%$	1960-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	1960-2000
<1,6	max	74,3	71,1	72,0	71,1	74,3
	średnia – mean	61,4	59,6	61,1	59,9	60,5
1,6-2,0	max	73,4	68,3	65,3	68,7	73,4
	średnia – mean	56,3	52,1	51,1	52,8	53,5
2,1-2,5	max	66,1	63,2	60,2	66,6	66,6
	średnia – mean	53,0	47,2	49,1	51,1	49,4
2,6-3,0	max	59,2	59,4	54,2	59,5	59,5
	średnia – mean	49,7	46,8	43,9	55,8	47,4
>3,0	max	61,1	54,3	51,3	56,4	61,1
	średnia – mean	41,7	39,0	35,9	40,2	39,0

W sposób niezależny od liczby mas atmosfery w czasie pomiaru aktywności jej stan optyczny można wyrazić poprzez standaryzowany wskaźnik zmętnienia Linkego ( $T_{LAM2}$ ). W Kołobrzegu w latach 1960-2000 jego średnia wielkość wyniosła 3,31. Maksymalne zmętnienie w badanym okresie wyniosło 7,79, co miało miejsce w dniu 5.09.1980 r., przy wysokości Słońca równej  $42,5^\circ$  w masie powietrza polarno-morskiego ciepłego. Z kolei minimalne zmętnienie atmosfery wyniosło zaledwie 1,73 i wystąpiło w dniu 30.03.1960 r., przy wysokości Słońca równej  $40,1^\circ$  w masie powietrza arktycznego starego. Oznacza to, że atmosfera w Kołobrzegu powoduje osłabienie promieniowania od prawie dwóch do niecałych 8 razy większe w porównaniu z atmosferą czystą i suchą.

Pod względem średnich wartości  $T_{LAM2}$  cztery wydzielone w opracowaniu okresy wykazują dość małe zróżnicowanie. Jednakże można zauważyć, że największe średnie zmętnienie wystąpiło w latach 1971-1980, natomiast najmniejsze w latach

1960-1970 i 1991-2000. Podobne zależności widać także dla wartości największych i najmniejszych (rys. 2). Zmniejszenie się zmętnienia atmosfery w ostatniej dekadzie XX wieku widoczne jest także w innych miejscach Polski. Przykładem może tu być zarówno duży ośrodek miejski jakim jest Warszawa jak również stacja położona w Mikołajkach – rejonie czystym ekologicznie (Uscka-Kowalkowska 2007). To zwiększenie przezroczystości atmosfery w ostatnim okresie związane jest także z przemianami gospodarczymi jakie zaszły wtedy w Polsce. Spowodowały one zamknięcie wielu bardzo uciążliwych dla środowiska zakładów przemysłowych, jak również wprowadzenie nowych, czystych technologii produkcyjnych oraz bardziej restrykcyjnych norm emisji zanieczyszczeń do atmosfery.



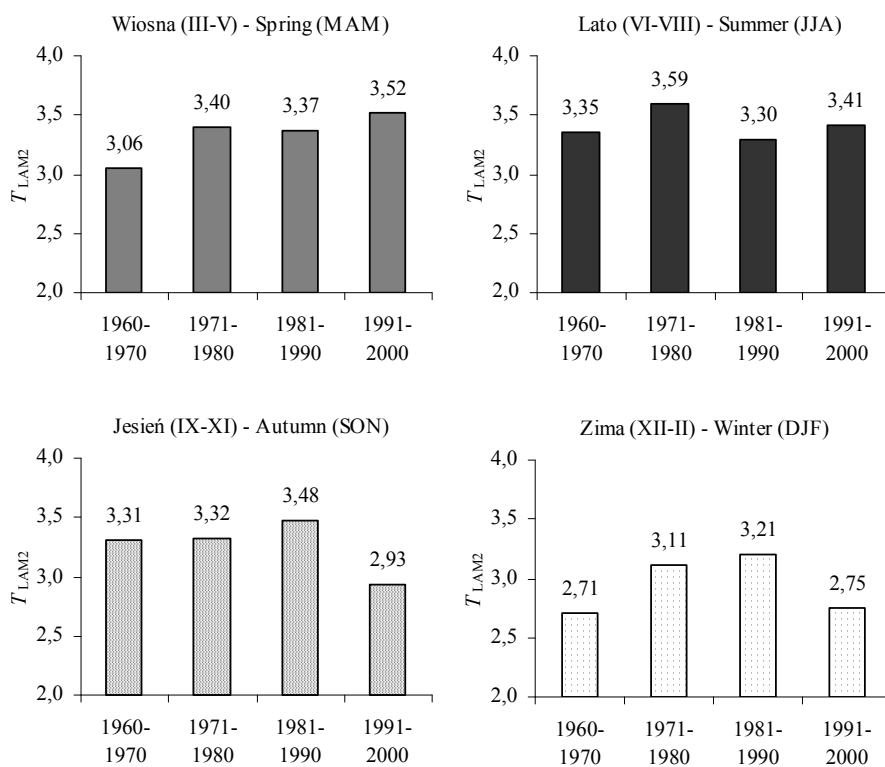
**Rys. 2.** Średnie, najmniejsze i największe wartości wskaźnika zmętnienia Linkego ( $T_{LAM2}$ ) w Kołobrzegu w wydzielonych okresach lat 1960-2000

**Fig. 2.** Mean, highest and lowest values of Linke turbidity factor ( $T_{LAM2}$ ) in Kołobrzeg in selected periods of the years 1960-2000

Spośród pór roku średnio największym zmętnieniem w Kołobrzegu charakteryzowało się lato ( $T_{LAM2} = 3,44$ ), a najmniejszym zima ( $T_{LAM2} = 3,00$ ). Wiosna i jesień średnio charakteryzowały się prawie takim samym stopniem zmętnienia, wynoszącym odpowiednio 3,31 i 3,33. Podobny przebieg roczny stopnia zmętnienia atmosfery z maksimum w okresie ciepłym i minimum w chłodnym zaobserwowano także w innych miejscach, np. dla Warszawy (Dziewulska-Łosiowa 1962, Michałowska-Smak 1981, Uscka-Kowalkowska 2007), Belska i Kasprowego Wierchu (Michałowska-Smak 1981), Papowa Toruńskiego (Uscka 2003), Puław (Uscka-Kowalkowska 2007), Mikołajek (Uscka-Kowalkowska 2007). Także w innych regionach klimatycznych występuje podobny przebieg roczny zmętnienia atmosfery, np. w Atenach (Jacovides, Karalis 1996), w Grenoble i okolicy (Grenier i in. 1995), w Athalassa na Cyprze (Jacovides i in. 1996), w Montfayet we Francji (Katz i in. 1982) oraz w Dhahran (Arabia Saudyjska) (Abdelrahman i in. 1988).

Dla poszczególnych dekad wyróżnionych w opracowaniu dla Kołobrzegu przebieg roczny wskaźnika zmętnienia może się trochę różnić. Cechą wspólną wszystkich czterech wyróżnionych okresów jest minimum zmętnienia zimą. Maksimum przypada 2 razy na lato raz na jesień i raz na wiosnę. Oznacza to, że najbardziej stabilnymi warunkami optycznymi w porównaniu do innych pór roku charakteryzuje się zima.

Podobnie jak to zostało pokazane dla średniego rocznego zmętnienia atmosfery również w przypadku średnich sezonowych można zaobserwować ich zmiany w czasie (rys. 3). Kierunek tych zmian nie jest jednak taki sam dla poszczególnych pór roku. Wyraźnie zaznacza się wzrost zmętnienia atmosfery na wiosnę oraz brak wyraźnej tendencji zmian latem i jesienią. Zimą największe zmętnienie wystąpiło w dekadzie 1981-1990, natomiast najmniejsze w latach 1960-1970 i 1991-2000.



**Rys. 3.** Zmiany zmętnienia atmosfery ( $T_{LAM2}$ ) w poszczególnych porach roku w Kołobrzegu w latach 1960-2000

**Fig. 3.** Changes in atmospheric turbidity ( $T_{LAM2}$ ) in different seasons in Kołobrzeg in the years 1960-2000

Wszystkie obserwacje zostały podzielone na klasy wg wartości wskaźnika zmętnienia Linkego w oparciu o klasy zmętnienia zaproponowane przez Siwkowa (1968). W Kołobrzegu w badanym okresie dominują przypadki o normalnym (2,6-3,0) i podwyższonym (3,1-3,5) stopniu zmętnienia, dające łącznie prawie połowę ogółu obserwacji (48,5%), natomiast najmniejszą częstością charakteryzuje się klasa o bardzo małym (<2,1) stopniu zmętnienia, na którą przypada zaledwie 1,3% dni (tab. 3).

**Tabela 3.** Absolutna (n) i względna (%) częstość występowania wskaźnika zmętnienia Linkego ( $T_{L\text{AM}2}$ ) w wydzielonych przedziałach w Kołobrzegu w latach 1960-2000

**Table 3.** Absolute (n) and relative (%) frequency of occurrence of atmospheric turbidity ( $T_{L\text{AM}2}$ ) in selected classes in Kołobrzeg in the years 1960-2000

$T_{L\text{AM}2}$	Wiosna Spring		Lato Summer		Jesień Autumn		Zima Winter		Rok Year	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<2,1	7	1,6	2	0,4	4	2,1	5	2,3	18	1,3
2,1-2,5	76	17,1	48	9,8	42	21,8	70	32,7	236	17,6
2,6-3,0	126	28,3	155	31,8	43	22,3	53	24,8	377	28,1
3,1-3,5	86	19,3	112	23,0	32	16,6	43	20,1	273	20,4
3,6-4,0	67	15,1	70	14,3	40	20,7	25	11,7	202	15,1
>4,0	83	18,7	101	20,7	32	16,6	18	8,4	234	17,5
Suma Sum	445	100,0	488	100,0	193	100,0	214	100,0	1340	100,0

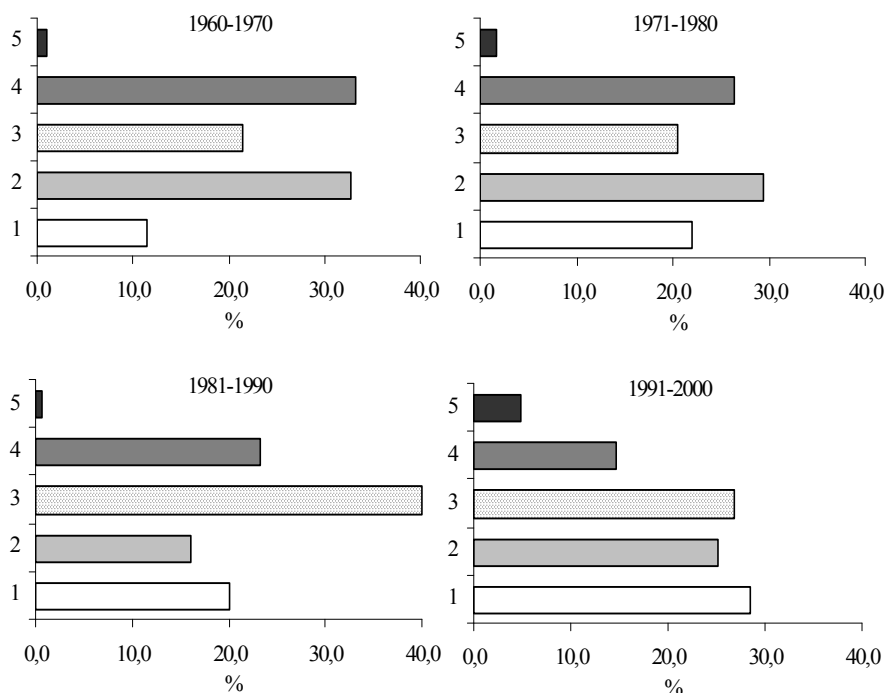
Struktura udziału poszczególnych klas zmętnienia atmosfery zmienia się w poszczególnych porach roku. Klasy o bardzo małym (<2,1) i małym (2,1-2,5) stopniu zmętnienia największą częstością charakteryzują się w zimie, natomiast klasy odpowiadające gorszym warunkom optycznym atmosfery są najczęstsze latem. Zwraca uwagę szczególnie duża częstość klasy o wysokim stopniu zmętnienia (>4,0) latem, gdyż przypada na nią aż 20,7% wszystkich obserwacji o tej porze roku.

Jak wiadomo ilość energii dopływającej wprost od tarczy słonecznej zależy od występujących mas powietrza. Dla wszystkich badanych dni, na podstawie map synoptycznych opublikowanych przez PIHM, a następnie przez IMGW, określono rodzaje mas powietrza zalegających nad Kołobrzegiem. Uzyskana struktura rodzajów mas powietrza nawiązuje do struktury mas powietrza gdy badania takie zostaną przeprowadzone dla wszystkich dni. Największą częstością charakteryzowały się masy polarne, wśród których na powietrze pochodzenia kontynentalnego (PPk) przypało 27,0% przypadków, zaś na masy morskie łącznie 52,3%. Ze względu na duże różnice stanu optycznego mas polarno-morskich starych (PPms) w stosunku do



pozostałych mas polarno-morskich (PPm i PPmc) w dalszej części opracowania będą one stanowiły oddzielne grupy mas powietrza. W okresie badawczym sporą częstością charakteryzowały się także masy powietrza arktycznego (PA, PAm, PAmS i PAs), natomiast najrzadziej występowały masy powietrza zwrotnikowego (PZ, PZk, PZm, PZms, PZs), gdyż obejmowały one zaledwie 1,6% przypadków.

Struktura udziału poszczególnych mas powietrza zmieniała się w poszczególnych okresach (rys. 4). W dwóch pierwszych dominowało powietrze polarno-morskie stare i polarno-kontynentalne. W dekadzie 1981-1990 zdecydowanie przeważały masy polarno-morskie, natomiast w dekadzie ostatniej masy arktyczne i polarno-morskie. Najbardziej zbliżona do średniej dla całego okresu jest dekada 1971-1980, natomiast w pozostałych pewne masy są nadreprezentowane albo jest ich mniej niż średnio.



**Rys. 4.** Częstość występowania poszczególnych rodzajów mas powietrza (1-5) w Kołobrzegu w wydzielonych okresach lat 1960-2000

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

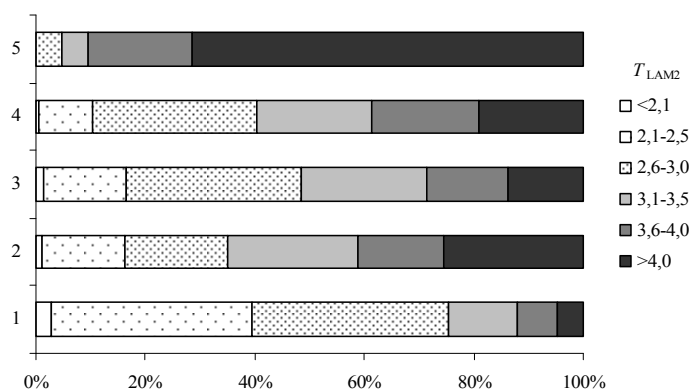
**Fig. 4.** Occurrence frequency of various types of air masses (1-5) over Kołobrzeg in selected periods of the years 1960-2000. Air masses: 1 – Arctic, 2 – Polar continental, 3 – Polar maritime, 4 – Polar maritime old, 5 – Tropical

Średnio najmniejszym stopniem zmętnienia w Kołobrzegu w badanym okresie charakteryzowało się powietrze arktyczne (2,83), natomiast największym zwrotnikowe (4,53). Masy powietrza polarno-kontynentalnego i polarno-morskiego starego charakteryzowały się prawie takim samym stopniem zmętnienia atmosfery (wynoszącym odpowiednio 3,49 i 3,42), natomiast nieco mniejsze zmętnienie występowało w powietrzu polarno-morskim (3,28). W poszczególnych dekadach badanego okresu relacje pomiędzy zmętnieniem mas powietrza wyglądały podobnie (tab. 4).

**Tabela 4.** Zmętnienie atmosfery ( $T_{LAM2}$ ) w Kołobrzegu w poszczególnych masach powietrza w wydzielonych okresach lat 1960-2000

**Table 4.** Atmospheric turbidity ( $T_{LAM2}$ ) in individual air masses over Kołobrzeg in selected periods of the years 1960-2000

Masy powietrza – Air masses	1960-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	1960-2000
Arktyczne – Arctic	2,61	2,82	3,04	2,80	2,83
Polarno-kontynentalne Polar continental	3,29	3,69	3,46	3,41	3,49
Polarno-morskie – Polar maritime	3,10	3,41	3,30	3,26	3,28
Polarno-morskie stare Polar maritime old	3,27	3,53	3,48	3,37	3,42
Zwrotnikowe – Tropical	4,73	4,37	5,66	4,26	4,53



**Rys. 5.** Częstość względna (%) zmętnienia atmosfery ( $T_{LAM2}$ ) w wydzielonych klasach w różnych masach powietrza w Kołobrzegu w latach 1960-2000. Masy powietrza: 1 – Arktyczne, 2 – Polarno-kontynentalne, 3 – Polarno-morskie, 4 – Polarno-morskie stare, 5 – Zwrotnikowe

**Fig. 5.** Relative frequency (%) of atmospheric turbidity ( $T_{LAM2}$ ) in selected classes in various air masses over Kołobrzeg in the years 1960-2000. Air masses: 1 – Arctic, 2 – Polar continental, 3 – Polar maritime, 4 – Polar maritime old, 5 – Tropical

W zależności od rodzaju mas powietrza zmienia się struktura częstości występowania poszczególnych klas zmętnienia. W masach arktycznych dominuje klasa o małym stopniu zmętnienia (2,1-2,5), natomiast w masach polarno-morskich i polarno-morskich starych klasa o normalnym stopniu zmętnienia (2,6-3,0). W powietrzu zwrotnikowym i polarno-kontynentalnym maksimum częstości przypada na klasę o najwyższym stopniu zmętnienia (rys. 5).

#### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Największe wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego w Kołobrzegu w latach 1960-2000 wystąpiły na wiosnę, gdy wysokości Słońca nad horyzontem w momencie górowania są niewiele mniejsze niż latem, a przezroczystość atmosfery jest znacznie większa. Największe wartości bezpośredniego promieniowania słonecznego dla wszystkich czterech dekad wyróżnionych w opracowaniu zanotowano przy arktycznych masach powietrza. Wartość rekordowa, wynosząca  $1005,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  wystąpiła 30.03.1960 roku.

Średnia wartość wskaźnika zmętnienia Linkego w Kołobrzegu w badanym okresie wyniosła 3,31, co oznacza podwyższone zmętnienie atmosfery. Średnio najmniejszym zmętnieniem atmosfery charakteryzował się początek i koniec badanego okresu, czyli lata 1960-1970 oraz 1991-2000, w których zmętnienie atmosfery wyniosło odpowiednio 3,18 i 3,23. W latach 1960-1970 ponad przeciętnie reprezentowane były masy polarno-kontynentalne i polarno morskie stare, czyli te, które charakteryzują się naturalnie większym zmętnieniem. Oznacza to, że w tym okresie prawdopodobnie mniejsze było antropogeniczne zanieczyszczenie atmosfery, co spowodowało nieco mniejsze od średniego dla całego okresu zmętnienie atmosfery. Okres ostatni 1991-2000 był uprzywilejowany pod względem czystych mas powietrza. Większy od średniego był udział mas arktycznych, a mniejszy polarno-morskich starych, co na pewno sprzyjało poprawie stanu optycznego atmosfery. Największym zmętnieniem w badanym okresie w Kołobrzegu charakteryzowała się natomiast druga dekada – 1971-1980, kiedy to wskaźnik zmętnienia Linkego wyniósł 3,41. Rozkład mas powietrza był wtedy zbliżony do średniego dla całego okresu, a więc na to zwiększenie zmętnienia miały wpływ najprawdopodobniej czynniki natury antropogenicznej.

Przebieg roczny zmętnienia atmosfery w Kołobrzegu jest przebiegiem typowym z maksimum w okresie ciepłym i minimum w chłodnym, co jest charakterystyczne dla obszarów o małym zanieczyszczeniu powietrza.

Na wielkość zmętnienia atmosfery miały również wpływ występujące masy powietrza. Najlepsze warunki optyczne wystąpiły w masach arktycznych a najgorsze w zwrotnikowych, co jest również zjawiskiem typowym. Masy polarno-

morskie stare i polarno-kontynentalne charakteryzowały się zbliżonym stopniem zmętnienia, natomiast nieco czystsze były masy polarno-morskie.

#### PIŚMIENNICTWO

- Abdelrahman M.A., Said S.A.M., Shuaib A.N., 1988. Comparison between atmospheric turbidity coefficients of desert and temperate climate, *Solar Energy*, 40, 219-225.
- Awierkijew M.S., Jewniewicz T.W., 1973. Opriedielenije aerzolnoj i wlażnoj mutnosti rialnoj 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, 1979-2000, 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.
- Grenier J.C., de La Casinière A., Cabot T., 1995. Atmospheric Turbidity analyzed by means of standardized Linke's Turbidity factor, *J. Appl. Meteor.*, 34, 1449-1458.
- Jacovides C.P., Karalis J.D., 1996. Broad band turbidity parameters and spectral band resolution of solar radiation for the period 1954-1991 in Athens, Greece, *Int. J. Climatol.* 16, 229-242.
- Jacovides C.P., Timbros F.S., Giannourakos G.P., Pashiardis S., Stefanou L., 1996. Recent measurements of broad-band turbidity parameters in the island of Cyprus, *Atmos. Environ.* 30, 3391-3396.
- Katz M., Beille A., Mermier M., 1982. Atmospheric turbidity in semi rural site – I: evaluation and comparison of different atmospheric turbidity coefficients, *Solar Energy* 28, 323-327.
- 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, s. 107 – 120.
- Siwko S.I., 1968. Metody rasczeta charakteristik sołniecznoj radiacji, *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. Ekstynkcja bezpośredniego promieniowania słonecznego w Puławach w latach 1969-1989, *Pamiętnik Puławski*, 144, 131-143
- Uscka-Kowalkowska J., 2007. Bezpośrednie promieniowanie słoneczne i jego ekstynkcja w atmosferze w Warszawie w latach 1960-2003, IV Ogólnopolska Konferencja „Klimat i bioklimat miast”, Streszczenia referatów i posterów, Łódź, 29 listopada-1 grudnia 2007 r., 45-46.
- 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.

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., z. 396, 187-193.

## DIRECT SOLAR RADIATION AND ITS EXTINCTION BY THE ATMOSPHERE IN KOŁOBRZEG IN THE YEARS 1960-2000

*Joanna Uscka-Kowalkowska*

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

**Abstract.** This study presents changes in the amount of direct solar radiation reaching the Earth's surface and the atmospheric turbidity in Kołobrzeg in the years of 1960-2000. The data for the study was provided by the Institute of Meteorology and Water Management in Warsaw. Highest values of direct solar radiation usually occur in spring and it was not unlike in the case of Kołobrzeg where on 30 March 1960 the peak value of  $1005.5 \text{ W m}^{-2}$  was recorded. The amount of atmospheric extinction of direct solar radiation was expressed by means of the Linke turbidity factor for the atmospheric mass of 2 ( $T_{\text{LAM}2}$ ). Its mean value in the analysed period was 3.31, reaching highest annual values in summer (3.44) and lowest in winter (3.00). The annual pattern of atmospheric turbidity over Kołobrzeg is typical of many other places where similar observations were made. The optical state of the atmosphere is also affected by air masses. In the analysed period the cleanest air masses over Kołobrzeg were Arctic masses ( $T_{\text{LAM}2} = 2.83$ ), whereas the biggest turbidity was caused by Tropical air masses ( $T_{\text{LAM}2} = 4.53$ ). Polar maritime old air masses and Polar continental masses had a similar level of turbidity ( $T_{\text{LAM}2}$  of 3.42 and 3.49, respectively), while Polar maritime air masses were slightly cleaner ( $T_{\text{LAM}2} = 3.28$ ).

**Key words:** extinction of direct solar radiation, Linke turbidity factor, Kołobrzeg