

Zmienność zachmurzenia na podstawie krakowskiej serii obserwacyjnej (1863-2005)

Variability of cloudiness on the basis of the Cracow series of meteorological observations (1863-2005)

Dorota Matuszko¹

Zarys treści: W opracowaniu przedstawiono charakterystykę zmienności zachmurzenia w przebiegu wieloletnim, rocznym i dziennym. Wykorzystano wyniki z terminowych obserwacji wielkości zachmurzenia (1863-2005) i rodzajów chmur (1906-2005) wykonywanych na stacji naukowej Zakładu Klimatologii IGiGP UJ w Krakowie. Uzyskano rezultaty potwierdzające wyniki wcześniejszych badań zachmurzenia w Polsce oraz stwierdzono indywidualne cechy zmienności warunków nefologicznych w Krakowie.

Słowa kluczowe: zachmurzenie, rodzaje chmur, warunki nefologiczne, dni bezchmurne, pogodne, pochmurne, całkowicie zachmurzone, Kraków

Key words: cloudiness, cloud genera, nephologic conditions, cloudless, clear, overcast, total cloudiness days, Cracow

Wstęp

Zachmurzenie jest jednym z najbardziej zmiennych elementów pogody i klimatu. Ważne znaczenie ma znajomość jego zmienności, bowiem chmury kształtują bezpośrednio bilans radiacyjny Ziemi, stanowiąc istotny czynnik klimatotwórczy.

Celem niniejszego opracowania jest charakterystyka dziennej, rocznej i wieloletniej zmienności zachmurzenia w Krakowie. Zrealizowanie postawionego zadania umożliwiła istnienie homogenicznej serii obserwacyjnej – podstawowego warunku przy badaniu zmian klimatu. Krakowski ciąg obserwacji zachmurzenia można uznać za jednorodny na podstawie testów statystycznych (Matuszko 2007) oraz informacji na temat historii obserwacji nefologicznych wykonywanych na stacji klimatologicznej Uniwersytetu Jagiellońskiego.

¹ Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, e-mail: d.matuszko@geo.uj.edu.pl

Wieloletnia zmienność stopnia zachmurzenia w Krakowie została opisana w pracach M. Morawskiej (1963), M. Morawskiej-Horawskiej (1984, 1985, 2002), M. Morawskiej-Horawskiej i Z. Oleckiego (1996), M. Kuczmarzkiego (1982) oraz Z. Ustrnula i T. Niedźwiedzia (1994). Zmiany zachmurzenia pod względem jakościowym były analizowane w opracowaniach D. Matuszko (1992, 2002, 2003).

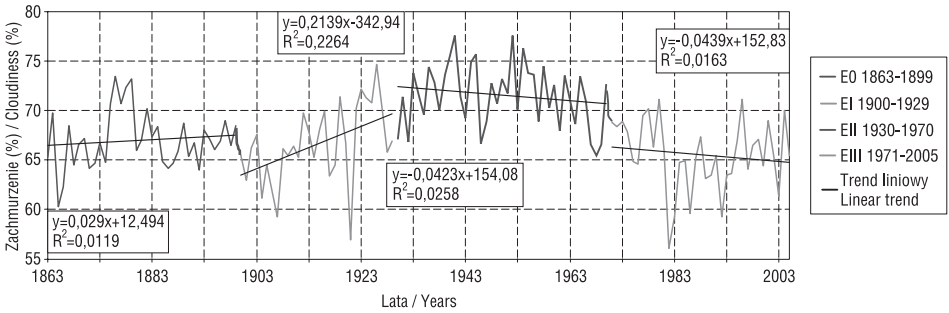
Materiał i metoda

W opracowaniu wykorzystano materiały archiwalne Zakładu Klimatologii IGiGP UJ w Krakowie, pochodzące z terminowych obserwacji wielkości zachmurzenia i rodzajów chmur. W analizie uwzględniono wartości zachmurzenia ogólnego z lat 1863-2005, gdyż w *Dziennikach codziennych spostrzeżeń meteorologicznych* zachowały się wyniki terminowych obserwacji wielkości zachmurzenia w skali od 0 do 10 dopiero od 1 grudnia 1862 r. Istnieje możliwość wydłużenia serii, ponieważ „stan atmosfery” w Krakowie (Matuszko 2001) określany był od początku istnienia stacji (1792 r.), lecz wcześniej zachmurzenie oceniano opisowo, a następnie w skali 4-stopniowej. Ze względu na fakt, że rekonstrukcja mogłaby budzić wątpliwości co do wiarygodności danych, w niniejszym opracowaniu zdecydowano wykorzystać ciąg oryginalny. Wielkość zachmurzenia do 31 grudnia 1990 r. oceniano w skali od 0 do 10, a od 1 stycznia 1991 r. w skali od 0 do 8. W celu uzyskania porównywalnych danych, wartości zachmurzenia ogólnego przeliczono na procenty, przyjmując niebo całkowicie zachmurzone jako 100%. Posługując się standardowymi metodami statystycznymi obliczono średnie wartości zachmurzenia, liczbę dni bezchmurnych, pogodnych, pochmurnych i całkowicie zachmurzonych w poszczególnych miesiącach oraz średnie dobowe i roczne. Do analizy trendu wykorzystano metodę regresji liniowej, której istotność badano przy zastosowaniu współczynnika determinacji.

Analizę jakościową zachmurzenia wykonano na podstawie 10 rodzajów chmur przyjętych w klasyfikacji międzynarodowej. Występowanie poszczególnych rodzajów chmur rozpatrywano na podstawie danych z lat 1906-2005, gdyż wcześniejsze obserwacje jakościowe zachmurzenia nie były w pełni jednorodne. Częstość występowania rodzajów chmur wyrażono w liczbach przypadków w miesiącu, z uwzględnieniem poszczególnych terminów klimatologicznych.

Zachmurzenie ogólne

Średnie roczne zachmurzenie w Krakowie w latach 1863-2005 wynosiło 67,9%. W ciągu doby największe zachmurzenie występowało w terminie porannym i wynosiło ono 70,7%, a najmniejsze wieczorem, 63,5%. Odchylenie standardowe średniego rocznego zachmurzenia wyniosło 4,1%, lecz w południe było większe i miało wartość 5,1%. W badanym okresie wystąpiły 2 maksima średniego rocznego zachmurzenia: 78% w 1941 i 1952 r. oraz minimum 56% w 1982 r., bardzo małe zachmurzenie (57%) było również w 1921 r.



Ryc. 1. Przebieg wieloletni średniego rocznego zachmurzenia (%) w Krakowie w epokach cyrkulacyjnych NAO (1863-2005)

Fig. 1. Multi-annual course of mean annual cloudiness (%) in Cracow in selected NAO circulation epochs (1863-2005)

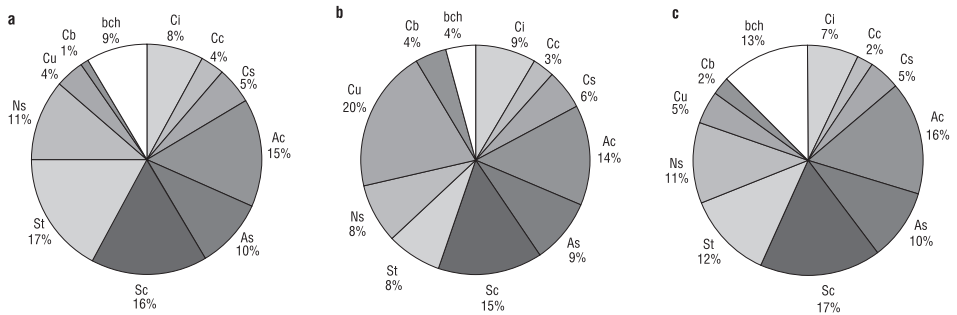
W ciągu roku miesiące zimowe są najbardziej zachmurzone, wartości miesięczne zachmurzenia przekraczają 70%, z maksimum w grudniu, wynoszącym 80%. Sierpień jest miesiącem o najmniejszym zachmurzeniu w roku – 58%, o 1% większe zachmurzenie jest we wrześniu. Zróżnicowanie średniego miesięcznego zachmurzenia z roku na rok, wyrażone odchyleniem standardowym, jest duże i waha się od 7,7% w grudniu do 11,1% we wrześniu. Największe wartości średniego miesięcznego zachmurzenia wynosiły 98% (luty 1952 r., grudzień 1945 r.), najmniejsza zaś 32% wystąpiła w marcu 1921 r.

W przebiegu wieloletnim widoczne są okresy o większym bądź mniejszym zachmurzeniu (ryc. 1), które można nawiązać do epok cyrkulacyjnych NAO (Marsz, Styszyńska 2001). Okres E0 (lata 1863-1899) charakteryzuje wyrównany przebieg zachmurzenia, o wartościach średnich rocznych poniżej 70%, EI (lata 1900-1929) – stopniowy wzrost zachmurzenia do wartości powyżej 70%, EII (lata 1930-1970) – okres o największym zachmurzeniu, przekraczającym 70%, natomiast EIII (1971-2005) odznacza się najmniejszym zachmurzeniem, z tendencją spadkową, szczególnie w terminie porannym w zimie. W epoce cyrkulacyjnej EII największe zachmurzenie (powyżej 80%) przypadało na miesiące jesienno-zimowe, a w końcu lat 30. XX w. także na wiosenne. W ostatniej epoce cyrkulacyjnej występują dłuższe okresy z zachmurzeniem poniżej 50% i tylko sporadycznie w listopadzie i grudniu zachmurzenie jest większe od 80%. Małym zachmurzeniem, szczególnie w miesiącach letnich i jesiennych, cechuje się epoka cyrkulacyjna EI.

Przebieg wieloletni liczby dni pochmurnych (>80%) i całkowicie zachmurzonych (100%) nawiązuje do przebiegu średniego rocznego stopnia zachmurzenia. W latach o największym zachmurzeniu (epoka EII) występuje najwięcej dni pochmurnych i całkowicie zachmurzonych, natomiast w ostatniej epoce – najmniej zachmurzonej – jest najmniej takich dni. Najdłuższe ciągi dni całkowicie zachmurzonych (100%) wynosiły 14 dni i występowały w zimie, natomiast ciągi dni pogodnych (<20%) najdłużej trwały 10 dni i zdarzały się na wiosnę. Najczęściej jednak pojedyncze dni pogodne przeplatały się z pojedynczymi dniami pochmurnymi, co potwierdza dużą zmienność zachmurzenia z dnia na dzień.

Rodzaje chmur

Poszczególne rodzaje chmur cechują się dużą zmiennością udziału w ciągu dnia i roku. Rano najczęściej występują chmury Stratus (17%), Stratocumulus (16%) i Alto-cumulus (15%), w południe Cumulus (20%), Stratocumulus (15%) i Alto-cumulus (14%), wieczorem – Stratocumulus (17%) i Alto-cumulus (16%) oraz niebo bezchmurne (13%). Najrzadziej w ciągu całego dnia pojawiają się chmury Cirrocumulus (3%), Cumulonimbus (3%) i Cirrostratus (5%) (ryc. 2). Chmury Stratocumulus i Alto-cumulus charakteryzują się małą (1-2%) zmiennością w ciągu dnia i średnio mają największy udział w zachmurzeniu Krakowa i całej Polski, ze względu na przeważające u nas masy powietrza polarnego morskiego, którym najczęściej towarzyszą. Największą zmiennością występowania w ciągu doby odznaczają się chmury niskie Stratus i Cumulus, z powodu silnego oddziaływania warunków lokalnych. Istotnym czynnikiem tworzenia się niskich chmur warstwowych, szczególnie rano, jest inwersja, której w Krakowie dodatkowo sprzyja położenie w słabo wentylowanej dolinie Wisły. Chmury Cumulus powstają w wyniku konwekcji, na ogół niezależnie od typu cyrkulacji, w związku z czym wykazują dużą zmienność w ciągu dnia, ze zdecydowaną dominacją w południe.



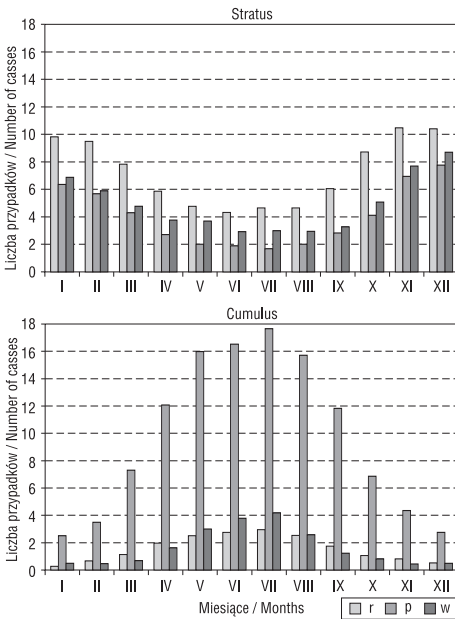
Ryc. 2. Udział procentowy rodzajów chmur w Krakowie (1906-2005) a) rano, b) południe, c) wieczór (Ci – Cirrus, Cs – Cirrostratus, Cc – Cirrocumulus, Ac – Alto-cumulus, As – Altostratus, Sc – Stratocumulus, St – Stratus, Ns – Nimbostratus, Cu – Cumulus, Cb – Cumulonimbus, bch – niebo bezchmurne)

Fig. 2. Percentage share of the clouds genera in Cracow (1906-2005) a) morning, b) noon, c) evening (Ci – Cirrus, Cs – Cirrostratus, Cc – Cirrocumulus, Ac – Alto-cumulus, As – Altostratus, Sc – Stratocumulus, St – Stratus, Ns – Nimbostratus, Cu – Cumulus, Cb – Cumulonimbus, bch – cloudless)

Spśród wszystkich rodzajów chmur największą zmienność roczną wykazują również Stratus i Cumulus. Maksimum częstości występowania chmury Stratus (ryc. 3) przypada na północne chłodne – szczególnie na grudzień; minimum na lato. Odwrotny przebieg roczny ma Cumulus (ryc. 3), maksimum częstości tworzenia się tej chmury występuje w lipcu, a minimum w grudniu. Podobną zmienność roczną, ale mniejsze zróżnicowanie częstości, wykazują też Alto-cumulus, Cumulonimbus i Cirrus. W ciągu dnia chmury

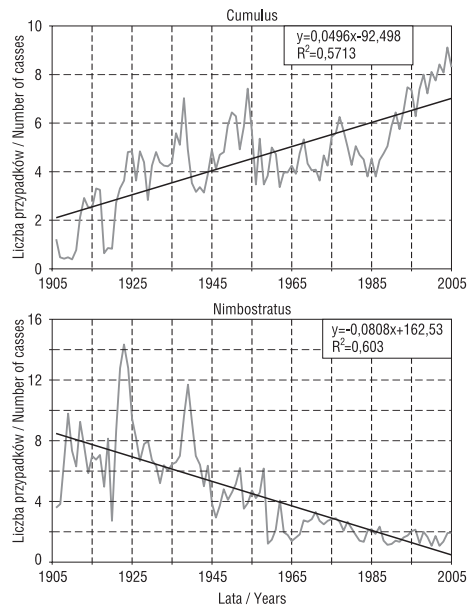
Alto cumululus w letniej połowie roku najczęściej pojawiają się wieczorem, a w zimie w południe. Podobną sezonowością w przebiegu dziennym odznaczają się chmury Stratocumululus, lecz w ciągu roku charakteryzują się bardzo małymi wahaniami częstości między kolejnymi miesiącami. Niewielkie zróżnicowanie w przebiegu rocznym, z maksimum w zimie, wykazują Altostratus i Nimbostratus, a z maksimum w lecie – bardzo rzadko pojawiające się – Cirrocumululus i Cirrostratus.

Stuletnia seria obserwacji jakościowych zachmurzenia w Krakowie pozwala stwierdzić pewne tendencje w przebiegu wieloletnim częstości poszczególnych rodzajów chmur. W całym ciągu trend rosnący istotny statystycznie charakteryzuje chmury Cirrus, Alto cumululus, Stratocumululus, Cumulus i Cumulonimbus, trend malejący natomiast chmury Cirrocumululus, Cirrostratus i Nimbostratus. Na podstawie analizy tendencji częstości poszczególnych rodzajów chmur w epokach cyrkulacyjnych (ryc. 4) można zauważyć, że chmury Stratus i Nimbostratus odgrywają największą rolę w zmianach wielkości zachmurzenia w Krakowie, gdyż przebieg wieloletni ich częstości pokrywa się z przebiegiem zachmurzenia ogólnego (ryc. 1). Wzrost częstości w ostatnich dwóch epokach cyrkulacyjnych charakteryzuje chmu-



Ryc. 3. Przebieg roczny częstości chmury Stratus i Cumulus w Krakowie (1906-2005) w terminach klimatologicznych: r – rano, p – południe, w – wieczór

Fig. 3. Annual course of the frequency of Stratus and Cumulus occurrence in Cracow (1906-2005) in the climatological terms: r – morning, p – noon, w – evening



Ryc. 4. Przebieg wieloletni częstości chmury Cumulus i Nimbostratus w Krakowie (1906-2005)

Fig. 4. Multi-annual course of the frequency Cumulus and Nimbostratus occurrence in Cracow (1906-2005)

Tab. 1. Współczynnik zmienności (%) częstości poszczególnych rodzajów chmur w Krakowie w latach 1906-2005 w terminach klimatologicznych

Table 1. Coefficient of variability (%) for the frequency of particular cloud genera in Cracow in the years 1906-2005 in the standard times of observation

Rodzaj Genus	Rano Morning	Południe Noon	Wieczór Evening	Średnia Mean
Cirrus	56	48	65	53
Cirrocumulus	82	92	100	84
Cirrostratus	65	54	65	56
Alto cumulus	43	40	52	41
Altostratus	64	46	64	54
Stratocumulus	48	45	57	48
Stratus	52	55	66	53
Nimbostratus	65	69	73	68
Cumulus	64	37	83	41
Cumulonimbus	133	51	78	60
Bezch./Cloudless	36	38	34	32

ry Cirrus, Cirrocumulus, Alto cumulus i Stratocumulus, w ostatniej epoce – Cumulus i Cumulonimbus. Nieregularny spadek frekwencji w poszczególnych okresach cechuje chmury warstwowe wszystkich pięter, szczególnie w terminie porannym i wieczornym.

W świetle współczynnika zmienności największą zmienność częstości w przebiegu wieloletnim wykazują chmury Cirrocumulus, Nimbostratus i Cumulonimbus (tab. 1). Dwa ostatnie rodzaje to chmury, których udział w zachmurzeniu ogólnym jest niewielki. Nie można wykluczyć zatem, że ich duża zmienność jest pozorna i wynika z błędów metodycznych, a nie fluktuacji klimatu. Najmniejszą zmiennością udziału odznacza się niebo bezchmurne oraz chmury Cumulus, Alto cumulus i Stratocumulus.

Podsumowanie

Średnie roczne zachmurzenie w Krakowie wynosi 67,9%, lecz w ciągu badanego wielolecia wartość ta ulegała zmianom w poszczególnych latach. Dwa równorzędne maksima – 78% wystąpiły w 1941 i 1952 r., minimum – 56% w 1982 oraz 57% w 1921 r. Największe średnie roczne zachmurzenie (>70%), najwięcej dni pochmurnych i całkowicie zachmurzonych przypadało na lata 1930-1970. Najmniej pochmurnym okresem, wykazującym dodatkowo trend malejący (szczególnie silny w zimie) jest ostatnia epoka cyrkulacyjna (1971-2005). Podobne tendencje występują w Łodzi (Wibig 2004), krajach byłego Związku Radzieckiego (Sun, Groisman 2000), Poczdamie i wielu regionach kuli ziemskiej (Dubicka, Limanówka 1994).

Najbardziej zachmurzonym miesiącem w ciągu roku jest grudzień (80%), a najmniej sierpień (58%). Absolutne miesięczne maksimum (98%) wystąpiło w lutym 1952 i grudniu 1945 r., a absolutne minimum (32%) w marcu 1921 r.

W Krakowie, podobnie jak w całej Polsce (Olszewski 1990) można wyróżnić dwa typy przebiegu dobowego zachmurzenia – „letni” i „zimowy”. Ciepła połowa roku (kwiecień–wrzesień) odznacza się dużą amplitudą dobową zachmurzenia, największe pokrycie chmurami występuje w porze okołopołudniowej (przeważają chmury konwekcyjne, głównie Cumulus), najmniejsze nocą. Półrocze chłodne (październik–marzec) ma małą amplitudę dobową wielkości zachmurzenia, charakteryzuje się maksimum rannym lub przedpołudniowym (dominują chmury warstwowe, głównie Stratus) i minimum wieczornym lub nocnym.

Największy udział w zachmurzeniu Krakowa, podobnie jak w całej Polsce, mają chmury *Alto cumulus* i *Strato cumulus*, a w dalszej kolejności występują *Stratus*, *Nimbostratus*, niebo bezchmurne, *Altostratus*, *Cumulus*, *Cirrus*, *Cirrostratus* i najrzadziej *Cirrocumulus* i *Cumulonimbus*. Bardzo wyraźny przebieg dzienny charakteryzuje chmury *Stratus* i *Cumulus*, najsilniej uzależnione od warunków lokalnych.

Chmurami o wyraźnie zaznaczonym przebiegu rocznym, z maksimum w lecie i minimum w zimie, są *Cirrus*, *Alto cumulus*, *Cumulus* i *Cumulonimbus*, natomiast maksimum w zimie wykazują chmury *Stratus* i *Altostratus*. Prawie ze stałą częstością w ciągu roku występują chmury *Strato cumulus*.

W przebiegu wieloletnim udział chmur konwekcyjnych charakteryzuje istotnie statystyczny trend rosnący, natomiast chmur warstwowych – trend malejący (wzrost i spadek częstości poszczególnych rodzajów chmur szczególnie widoczny w ostatnim 35-leciu). Podobne tendencje zauważono w Łodzi (Wibig 2004) i krajach byłego Związku Radzieckiego (Sun i in. 2001).

Praca częściowo wykonana w ramach Projektu Zamawianego przez Ministerstwo Środowiska PBZ-KBN-086/P04/2003.

Literatura

- Dubicka M., Limanówka D., 1994, *Zmienność zachmurzenia i usłonecznienia w Sudetach i Karpatach oraz na ich przedpolu*, Acta Univ. Wratislaviensis, 1590, Prace Inst. Geogr., Ser. C, 1, 45-60.
- Kuczarski M., 1982, *Usłonecznienie i zachmurzenie w Krakowie*, Prz. Geofiz., 3-4, 241-249.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2001, *Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską*, Wyd. WSM, Gdynia.
- Matuszko D., 1992, *Wieloletnie zmiany zachmurzenia w Krakowie*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 88, 147-156.
- Matuszko D., 2001, *Long-term observation of cloud cover in Cracow (1792-1999)*, Geogr. Polonica, 74, 2, 41-56.
- Matuszko D., 2002, *Long-term course of cloud genera frequency in Cracow (1906-2000)*, EOS, 83, 46, 528.
- Matuszko D., 2003, *Cloudiness Changes in Cracow in the 20th Century*, Int. J. Climatol., 23, 8, 975-984.
- Matuszko D., 2007, *Zachmurzenie*, [w:] *Klimat Krakowa w XX wieku*, D. Matuszko (red.), Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków.
- Morawska M., 1963, *Zachmurzenie i usłonecznienie Krakowa w latach 1859-1958*, Prace PIHM, 81, 1-46.
- Morawska-Horawska M., 1984, *Współczesne zmiany w zachmurzeniu i usłonecznieniu Krakowa na tle 120-lecia*, Prz. Geofiz., 3, 271-285.
- Morawska-Horawska M., 1985, *Cloudiness and sunshine in Cracow, 1861-1980, and its contemporary tendencies*, Int. J. Climatol., 5, 633-642.
- Morawska-Horawska M., 2002, *Tendencje zachmurzenia i usłonecznienia Krakowa w latach 1861-1990*, [w:] *Działalność naukowa profesora Władysława Gorczyńskiego i jej kontynuacja*, Sympozjum klimatologiczne na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika, 16-17 IX 1993, Toruń, 341-351.
- Morawska-Horawska M., Olecki Z., 1996, *Wieloletnie zmiany w zachmurzeniu, usłonecznieniu i dopływie promieniowania słonecznego w Krakowie*, Folia Geogr., Ser. Geogr.-Phys., 26-27, 59-74.

- Olszewski K., 1990, *Zmiany dobowe wielkości zachmurzenia w różnych masach powietrznych*, Prz. Geofiz., 3-4, 169-174.
- Sun B., Groisman P.Ya., 2000, *Cloudiness Variations over the Former Soviet Union*, Int. J. Climatol., 20, 1097-1111.
- Sun B., Groisman P.Ya., Mikhov I.I., 2001, *Recent changes in cloud-type frequency and inferred increases in convection over the United States and the Former USSR*, J. Climate, 14, 1864-1880.
- Ustrnul Z., Niedźwiedź T., 1994, *Sprawozdanie z prac wykonanych w roku 1994, temat M-2, Wstępna analiza zachmurzenia Polski w ujęciu klimatologii synoptycznej*, IMGW Oddział w Krakowie (maszynopis).
- Wibig J., 2004, *Zachmurzenie w Łodzi w latach 1951-2000*, [w:] *100 lat obserwacji meteorologicznych w Łodzi*, Acta Geogr. Lodz., 89, 115-129.

Summary

The aim of the present study is to characterise the daily, annual and long-term variability of cloudiness in Cracow.

As a result of an analysis of data obtained from the observation series, it was possible to conclude that the mean annual cloudiness in Cracow amounts to 67.9%. However, during the multi-annual period investigated, this figure varied from year to year. Two equivalent maxima of 78% were recorded in 1941 and in 1952; two minima (56% and 57%) were registered in 1982 and 1921, respectively. The highest value of mean annual cloudiness (>70%), as well as the largest number of partially and of fully clouded days were observed in the years 1930-1970. The period with the least cloudiness, which additionally displays a downward trend (especially pronounced in wintertime), is the last circulation epoch (1970-2005). The cloudiest month of the year is December (80%) and the least cloudy is August (58%).

Altostratus and Stratocumulus clouds constitute the largest proportion of cloud cover over Cracow, followed by Stratus, Nimbostratus, clear skies, Altostratus, Cumulus, Cirrus, Cirrostratus. Cirrocumulus and Cumulonimbus clouds are the least frequent. Stratus and Cumulus, the cloud genera most heavily dependent on local conditions, are characterized by a very strong daily pattern.

While Cirrus, Altostratus, Cumulus and Cumulonimbus display a clear annual pattern, with a summertime maximum and a wintertime minimum, Stratus and Altostratus show a reversed annual cycle, with a maximum in wintertime and a minimum in summertime. Stratocumulus clouds appear with almost constant frequency throughout the year.

In the multi-annual pattern, convex clouds are characterized by a statistically significant increase in frequency, whereas stratus clouds display a decrease in frequency (both the increase and the decrease in frequency of particular cloud genera have been particularly noticeable over the last 35 years).