

ZWIĄZKI MIĘDZY ZACHMURZENIEM, OPADAMI I TEMPERATURĄ POWIETRZA W KRAKOWIE W OSTATNIM STULECIU

Dorota Matuszko, Katarzyna Piotrowicz, Robert Twardosz
Uniwersytet Jagielloński
Zakład Klimatologii
Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej

Wprowadzenie

Poznanie cech termicznych, nefologicznych i opadowych, klimatu i ich zmian w ostatnich latach na świecie jest jednym z ważniejszych zadań badawczych współczesnej klimatologii. Istnieją poglądy, iż w skali globalnej zmniejsza się udział chmur warstwowych (*Ns*) dających opady długotrwałe, ale o mniejszym natężeniu, a zwiększa chmur o budowie pionowej (*Cb*), przynoszących opady krótkotrwałe, ulewne (Kędziora 1995). Opady te nie są zatrzymywane przez roślinność, szybko spływają po powierzchni ziemi, a na stale powiększających się terenach zurbanizowanych trafiają do sieci kanalizacyjnej. W efekcie (mniejsze parowanie, spadek zawartości pary wodnej w atmosferze) zmniejsza się ogólna suma opadów. Prawdopodobnie zmiany te są wywołane wzrostem temperatury, jaki obserwuje się na świecie w ostatnim stuleciu.

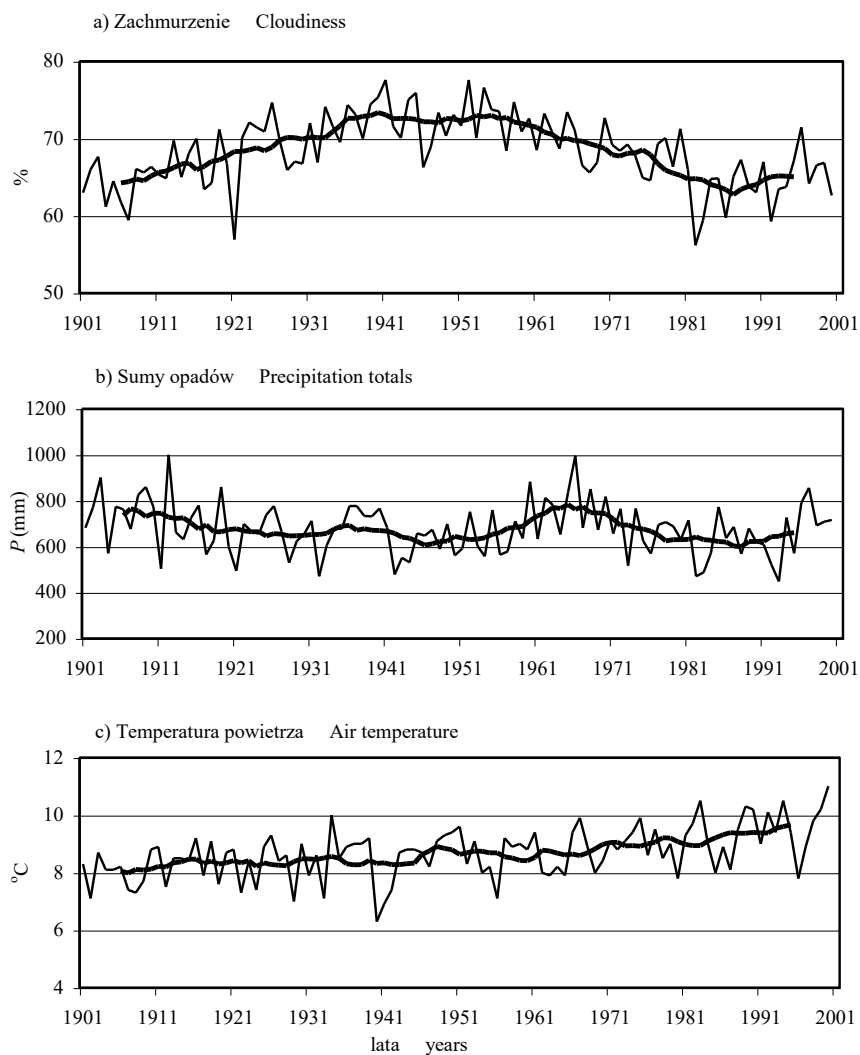
Celem niniejszego opracowania jest próba określenia relacji między temperaturą powietrza, zachmurzeniem i opadami atmosferycznymi w Krakowie na podstawie wieloletniej serii obserwacji meteorologicznych. Jest to zarazem udział w dyskusji na temat sprzężeń zwrotnych zachodzących w atmosferze.

W pracy wykorzystano wyniki codziennych pomiarów i obserwacji klimatologicznych wykonywanych na Stacji Naukowej Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ w Krakowie z lat 1901-2000. Stacja położona jest w centrum miasta, na terenie Ogrodu Botanicznego ($\varphi = 50^{\circ}04N$, $\lambda = 19^{\circ}58E$, $h = 220$ m n.p.m.).

Wyniki badań

Na podstawie wieloletnich przebiegów rocznych wartości rozpatrywanych elementów klimatu stwierdzono, że fluktuacje termiczne są sprzężone z wahaniami zachmurzenia i opadów atmosferycznych (rys. 1). Przebieg średniego rocznego zachmurzenia (rys. 1a) ma główne dwa równorzędne minima – 57% w 1921 i 1982 roku oraz dwa równorzędne maksima – 78% w 1941 i 1952 roku. Na początku wieku występował

niewielki spadek zachmurzenia, następnie od 1906 roku do początku lat czterdziestych obserwowano wzrost, potem przez kolejne 20 lat stałe duże wartości, od 1961 roku spadek zachmurzenia, a od początku lat osiemdziesiątych ponowny jego wzrost.



Rys. 1. Przebieg rocznych wartości oraz średniej konsekwentnej 5-letniej: wielkości zachmurzenia (a), sum opadów (b) i średniej temperatury powietrza (c) w Krakowie w latach 1901-2000

Fig. 1. Course of the annual values and 5-years moving averages: of cloudiness (a), of precipitation totals (b) and of mean air temperature (c) in Cracow in the years 1901-2000

Podobnie przebieg czasowy opadów wykazuje fluktuacje dość regularne następujące po sobie okresy wzrostów i spadków sum (rys. 1b). Zaznaczają się dwa maksima opadów (bliskie 1000 mm) w 1912 i 1966 roku. Minimum opadu rocznego (448 mm) pojawiło się

w 1993 roku. Bardzo wysokie sumy roczne opadów stwierdzono na początku wieku oraz w latach sześćdziesiątych. Po kilku latach z dużym niedoborem opadów od 1995 roku występuje tendencja wzrostowa opadów.

Zarówno przebieg wielkości zachmurzenia, jak i sum opadów nie wykazują istotnego trendu w analizowanym okresie, natomiast istotną tendencję rosnącą od początku XX wieku ma średnia roczna temperatura w Krakowie (rys. 1c). Od 1983 roku wystąpiło aż 7 lat, w których średnia roczna temperatura powietrza przekroczyła wartość 10°C. Najchłodniejszym rokiem w poprzednim stuleciu był rok 1940 ze średnią temperaturą 6,3°C.

Od lat sześćdziesiątych można zauważyć dobrą zgodność w przebiegu wielkości zachmurzenia i sum opadów. Ma to związek ze zmianą struktury zachmurzenia w Krakowie, wywołaną prawdopodobnie wzrostem temperatury powietrza. W pierwszej połowie wieku o zachmurzeniu nad Krakowem (Matuszko 1998) decydowały w znacznym stopniu (około 30%) chmury warstwowe *St* i *Ns*, potem ich rola osłabła, a wzrósł udział chmur konwekcyjnych.

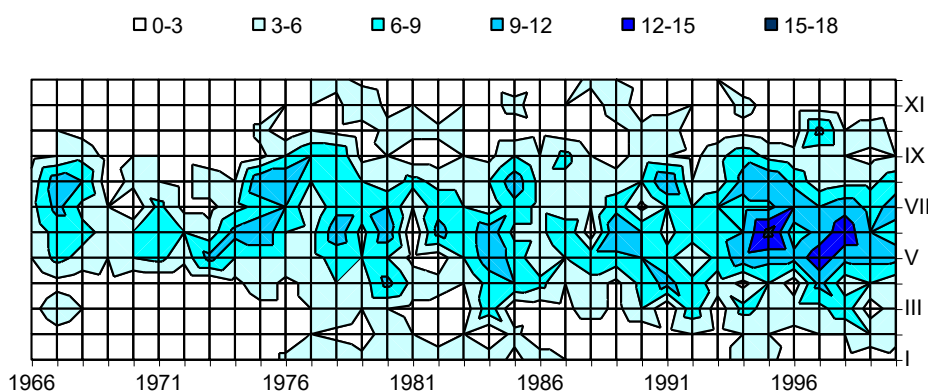
Prawdopodobnie przyczyną tak dużego wówczas (1901-1950) udziału chmur warstwowych były, oprócz czynników cyrkulacyjnych, warunki lokalne Krakowa: położenie w słabo przewietrzanej i wilgotnej dolinie Wisły oraz ograniczona wymiana powietrza wskutek zalegania termicznych warstw inwersyjnych we wklęsłej formie terenu. W latach powojennych, zmeliorowanie terenów podmokłych w Krakowie osuszenie powietrza nad miastem na skutek urbanizacji i emisji sztucznego ciepła do atmosfery spowodowały spadek częstości występowania niskich chmur warstwowych. Natomiast w ostatnim trzydziestoleciu można stwierdzić wzrost częstości występowania chmur *Cu* i *Cb*. Pojawianiu się tych chmur kłębiastych sprzyja silnie rozwinięta konwekcja nad rozgrzаныmi, betonowymi powierzchniami i intensywny rozwój aglomeracji miejskiej emitującej sztuczne ciepło do atmosfery.

Z dominującymi w pierwszej połowie XX stulecia chmurami warstwowymi dość dobrze koreluje zwiększona częstość pojawiania się opadów o małym natężeniu. I tak, na początku analizowanego okresu oraz w latach trzydziestych wystąpiła większa liczba dni z opadem bardzo słabym (≤ 1 mm). Przyczyną zaznaczającego się w latach 1901-1950 wzrostu wielkości zachmurzenia przy równoczesnym spadku sum rocznych opadów była również wspomniana zmiana struktury zachmurzenia. Chmury warstwowe dają bowiem opady o małym natężeniu, które w niewielkim stopniu wpływają na sumy roczne. Prawdopodobnie dlatego przebiegi wielkości zachmurzenia i sum opadów w tym okresie miały odmienne tendencje.

Na wzrost średniej rocznej temperatury powietrza największy wpływ wywiera temperatura w miesiącach zimowych (Trepńska 1997, 2000). Od początku XX wieku w zimie znacznie wzrastała liczba dni z temperaturą maksymalną powietrza $>10^{\circ}\text{C}$

(Piotrowicz 1999). Największy wzrost liczby dni z taką temperaturą wystąpił w lutym (2,4 dnia na 100 lat). W lutym 1989 i 1997 stanowiły one nawet ponad połowę dni w miesiącu. Niewątpliwie miało to wpływ na inne elementy meteorologiczne.

Zauważono między innymi, że w latach 1966-2000 chmury konwekcyjne i towarzyszące im burze coraz częściej pojawiały się w półroczu chłodnym (rys. 2), co należy wiązać z występowaniem bardzo łagodnych zim w ostatnich latach (Piotrowicz 2000). W tym okresie również burze zaczęły się pojawiać z większą częstością w marcu i kwietniu oraz latem. Z ostatnich badań wynika, że średnia temperatura lata nie ma tendencji wzrostowej zmian, a nawet tendencję spadkową, czyli temperatura lata jest jakby zaprzeczeniem teorii globalnego ocieplenia (Trepńska 1997, 2000). Niemniej jednak w przypadku krakowskiej serii okazało się, że w lecie w XX wieku wzrasta liczba dni gorących – z temperaturą maksymalną powietrza powyżej 25°C (rys. 3). Zatem zwiększa się zmienność temperatury tej pory roku. Dni z $t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ coraz częściej pojawiają się stosunkowo wcześnie, już w kwietniu, czym również można tłumaczyć zwiększającą się liczbą dni z chmurami *Cb* i burzami w tym miesiącu.

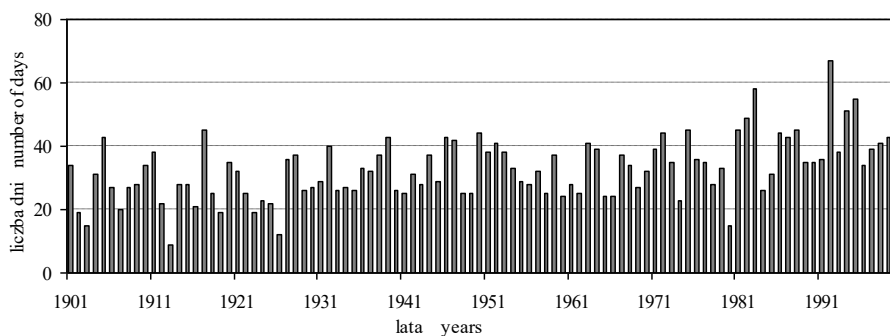


Rys. 2. Liczba przypadków chmury *Cb* w Krakowie w latach 1966-2000
Fig. 2. Number of cases of *Cb* cloud in Cracow in the years 1966-2000

Można przypuszczać, że główną przyczyną zmian analizowanych elementów meteorologicznych są czynniki cyrkulacyjne wzmocnione oddziaływaniem czynników antropogenicznych.

Przebieg temperatury powietrza, szczególnie w miesiącach zimowych, jest bardzo zbliżony do przebiegu wskaźnika progresji wpływów Atlantyku. Począwszy od lat siedemdziesiątych nastąpiła intensyfikacja cyrkulacji strefowej o składowej zachodniej (Niedźwiedź 1993), przyczyniającej się, szczególnie w zimie, do wzrostu temperatury powietrza. Z kolei wielkość zachmurzenia i sumy roczne opadów są silniej skorelowane ze zmiennością wskaźnika cykloniczności *C* (Matuszko, Bielec 1998, Niedźwiedź 1993,

Twardosz 1999). Ścisłe związki zachmurzenia i opadów najlepiej obrazują przypadki dobowych opadów bardzo dużych, powyżej 20 mm, które pojawiają się z częstością zaledwie 3%, ale ich udział w sumie rocznej wynosi aż 21,9% (Twardosz 2000). Autor wykazał, że wahania sum rocznych w 86% przypadków zależą są od wahań liczby dni z opadem bardzo silnym. Tak wysokie opady dobowe występują prawie wyłącznie z chmur *Cb* i *Ns* (Matuszko, w druku). Według klasyfikacji cyrkulacji T. Niedźwiedzia (2001) 50% opadów bardzo silnych pojawia się w trzech sytuacjach cyklonalnych: bruździe cyklonalnej (*Bc*), północnej (*Nc*) i północno-wschodniej (*NEc*) (Twardosz 2000).



Rys. 3. Liczba dni z temperaturą maksymalną powietrza powyżej 25°C w lecie (czerwiec-sierpień) w Krakowie w latach 1901-2000

Fig. 3. Number of days with maximum air temperature above 25°C in summer (June-August) in Cracow in the year 1901-2000

Podsumowanie

W Krakowie w ostatnim stuleciu można stwierdzić stały wzrost średniej rocznej temperatury powietrza, wywołany prawdopodobnie zarówno czynnikami naturalnymi, jak i antropogenicznymi. Ocieplenie klimatu Krakowa być może przyczyniło się do wzrostu częstości występowania niskich chmur konwekcyjnych. Rozwój chmur *Cu*, a następnie *Cb* prowadzi często do intensywnych opadów przelotnych, burz i gradobić, których liczba w ostatnich latach nasiliła się. Warto zaznaczyć, że na wzrost średniej rocznej temperatury powietrza największy wpływ ma temperatura miesięcy zimowych. Znamienne jest, że w ostatnich latach także w porze zimowej zwiększyła się częstość występowania chmur *Cb* i liczby dni z burzą.

W Krakowie w ostatnim półwieczu spadła częstość występowania niskich chmur warstwowych i mgły na skutek wysuszenia powietrza nad miastem, co prawdopodobnie spowodowało zmniejszenie liczby dni z opadem słabym.

W przebiegu wieloletnim sum rocznych opadów nie wykryto żadnej tendencji zmian, co jest efektem wzajemnego równoważenia się okresów z wysokimi i niskimi sumami.

Zachmurzenie i opady wykazują najściślejsze związki statystyczne ze wskaźnikiem cykloniczności, natomiast przebieg temperatury powietrza, szczególnie w miesiącach zimowych, jest bardzo zbliżony do przebiegu wskaźnika progresji wpływów Atlantyku.

Istnienie sprzężeń zwrotnych w skali globalnej budzi wątpliwości, czy wzrost temperatury powietrza, a zatem wzmożone parowanie, prowadzi do wzrostu pokrywy chmur (chmury warstwowe) czy też do nasilenia się pionowego rozwoju (chmury konwekcyjne) przy możliwym nawet spadku zasięgu poziomego. Przykład Krakowa (skala lokalna) przemawia za drugą hipotezą, a tym samym potwierdza pogląd, iż zmniejsza się udział chmur warstwowych dających opady długotrwałe o mniejszym natężeniu, a zwiększa udział chmur o budowie pionowej, przynoszących krótkotrwałe opady ulewne.

LITERATURA

- Kędzióra A., 1995, *Prognoza zmian klimatycznych. Prognoza ostrzegawcza zmian środowiskowych warunków życia człowieka w Polsce na początku XXI wieku*. Zeszyty Naukowe Komitetu „Człowiek i Środowisko”, 10, Instytut Ekologii PAN, Oficyna wydawnicza, 97 - 132.
- Matuszko D., 1998, *Zachmurzenie Krakowa*. Przegląd Geofizyczny, 43, 3-4, s. 207 - 219.
- Matuszko D., Bielec Z., 1998, *Multiannual variability of thunderstorms and Cb clouds occurrence in Cracow based on the period 1906-1995*. Materiały Konferencji „2nd European Conference on Applied Climatology”, 19 to 23 October 1998, Vienna, Austria.
- Matuszko D. (w druku), *Związek między rodzajami chmur a opadami na przykładzie Krakowa*. Roczniki Akademii Rolniczej, Poznań.
- Piotrowicz K., 1999, *Zróżnicowanie temperatury maksymalnej i minimalnej powietrza w sezonie chłodnym w Krakowie (1836/37-1998/99)*. Materiały konferencyjne „Zmiany i zmienność klimatu Polski”, 4-6 listopad 1999, Łódź, 221-224.
- Piotrowicz K., 2000, *Termika zim w Krakowie, Pradze i Lwowie od schyłku małej epoki lodowej do końca XX stulecia (studium metodyczne i ocena zmienności)*. Rozprawa doktorska, Zakład Klimatologii IG i GP UJ, Kraków.
- Niedźwiedź T., 1993, *Wieloletnia zmienność wskaźników cyrkulacji atmosfery nad Polską Południową*. [W:] Materiały Konferencji „Współczesne badania klimatologiczne”, (red.) B. Krawczyk i K. Błażejczyk, 23, IGiPZ PAN, 7-18.
- Niedźwiedź T., 2001, *Kalendarz sytuacji synoptycznych dla dorzecza górnej Wisły 1873-1999* (zbiór komputerowy).
- Trepińska J. (red.), 1997, *Wahania klimatu w Krakowie (1792-1995)*. Instytut Geografii UJ, Kraków, 1-204.
- Trepińska J., 2000, *Anomalie, cykle, trendy termiczne w klimatologii na przykładzie fluktuacji termicznych w Europie Środkowej w XIX i XX wieku*. Acta Univ. Nicolai Copernici, 106, 307-326.
- Twardosz R., 1999, *Precipitation variability and tendency in Kraków for the period 1850-1997 related to circulation patterns*. Acta Geophysica Polonica, 47, 1, 111-133.
- Twardosz R., 2000, *Wieloletnia zmienność sum dobowych opadów w Krakowie w powiązaniu z sytuacjami synoptycznymi*. Prace Geograficzne IG UJ, 105, 19-71.

Dorota Matuszko, Katarzyna Piotrowicz, Robert Twardosz
Uniwersytet Jagielloński
Zakład Klimatologii
Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej

**RELATIONS BETWEEN CLOUDINESS, PRECIPITATION AND AIR TEMPERATURE
IN KRAKOW IN THE LAST CENTURY**

SUMMARY

The paper aimed at determining the relation between air temperature, cloudiness and precipitation in Krakow. Meteorological data from the period 1901-2000 was used. It was found that the mean yearly air temperature shows constant growth, induced both by natural and anthropogenic factors. Climate warming in Kraków probably resulted in more frequent appearance of convective clouds as well as intense intermittent precipitation, thunderstorms and hailstorms. On the other hand the frequency of appearance of stratus clouds and fog diminished which probably contributed to reduction of the number of days with low precipitation. Cloudiness and precipitation showed closest statistical relation to the cyclonicity index while the course of air temperature, particularly in the winter months, shows great similarity to the progression index of influence of the Atlantic.