

PORÓWNANIE WARUNKÓW NEFOLOGICZNYCH I SOLARNYCH W KRAKOWIE I GAIKU-BRZEZOWEJ

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego może poszczycić się posiadaniem dwóch stacji klimatologicznych; jednej w Krakowie, działającej od 1792 r. i drugiej w Gaiku-Brzezowej założonej w 1964 r. Unikatowa, jednorodna, ponad dwustuletnia seria krakowska pozwala na badanie wieloletniej zmienności klimatu, zaś stacja w Gaiku-Brzezowej daje możliwość poznania zróżnicowania klimatu Pogórza Karpackiego. Ponadto funkcjonowanie tej stacji zarówno przed jak, i po powstaniu Zbiornika Dobczyckiego pozwala na prowadzenie studiów nad wpływem zbiornika wodnego na mezoklimat. Istnienie pary stacji, z których jedna reprezentuje warunki miejskie, a druga pozamiejskie, umożliwia badanie wpływu miasta na przebieg wielu elementów klimatu.

Inicjatorką wielu badań klimatologicznych z wykorzystaniem wyników pomiarów ze stacji uniwersyteckich w Krakowie i Gaiku-Brzezowej jest prof. Barbara Obrębska-Starkłowa, autorka licznych publikacji i prac naukowych, a także promotorka prac doktorskich oraz magisterskich z tego zakresu.

Bardzo cenny wkład do poznania stosunków radiacyjnych w Krakowie i na Pogórzu Wielickim stanowią prace Oleckiego (1975, 1989, 2002), zaś publikacje Morawskiej-Horawskiej (1984, 2002) oraz Morawskiej-Horawskiej i Oleckiego (1996) traktują o wieloletniej zmienności zachmurzenia i usłonecznienia w Krakowie.

Celem niniejszego opracowania jest analiza porównawcza warunków nefologicznych i solarnych Krakowa i Gaika-Brzezowej, zmierzająca do oceny wpływu czynników cyrkulacyjnych i lokalnych na zachmurzenie i usłonecznienie.

Położenie stacji, materiały źródłowe i metoda opracowania

W opracowaniu wykorzystano wyniki terminowych obserwacji zachmurzenia (wielkości i rodzajów chmur) i pomiarów usłonecznienia rzeczywistego

wykonywanych na stacjach naukowych Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie i Gaiku-Brzezowej w latach 1966-2004. Obydwie stacje położone są w umiarkowanie ciepłym piętrze klimatycznym i według podziału okolic Krakowa na regiony klimatyczne zaliczane są do Regionu Kotlin Podkarpackich (Hess, 1965). Stacja w Krakowie (N 50°04' 19°58' E, 206 m n.p.m.) znajduje się w dawnym Obserwatorium Astronomicznym UJ, na terenie Ogrodu Botanicznego, który na początku wieku stanowił peryferie miasta, a obecnie usytuowany jest niemal w centrum Krakowa. Stacja w Gaiku-Brzezowej (N 49°51' 20°03' E) zlokalizowana jest na południowy wschód od centrum Krakowa, po wschodniej stronie zbiornika w Dobczycach, na terenie użytkowanym rolniczo, w odległości około 30 km od Ogrodu Botanicznego. W latach 1965-1982 stacja zlokalizowana była na terasie Raby na wysokości 259 m n.p.m, a następnie 1 stycznia 1983 r., ze względu na budowę i napełnienie zbiornika wodnego, została przeniesiona na wysokość 302 m n.p.m., na wierzchołkową garbu Pogórza.

Posługując się standardowymi metodami statystycznymi, obliczono średnie wielkości zachmurzenia w procentach, liczbę dni bezchmurnych oraz częstość rodzajów chmur wyrażoną w liczbach przypadków wystąpienia w miesiącu z uwzględnieniem poszczególnych terminów klimatologicznych. Wyniki pomiarów usłonecznienia pochodzą z heliografu typu Campbella-Stokesa i wyrażone są w godzinach. Na ich podstawie obliczono sumy miesięczne i roczne usłonecznienia rzeczywistego.

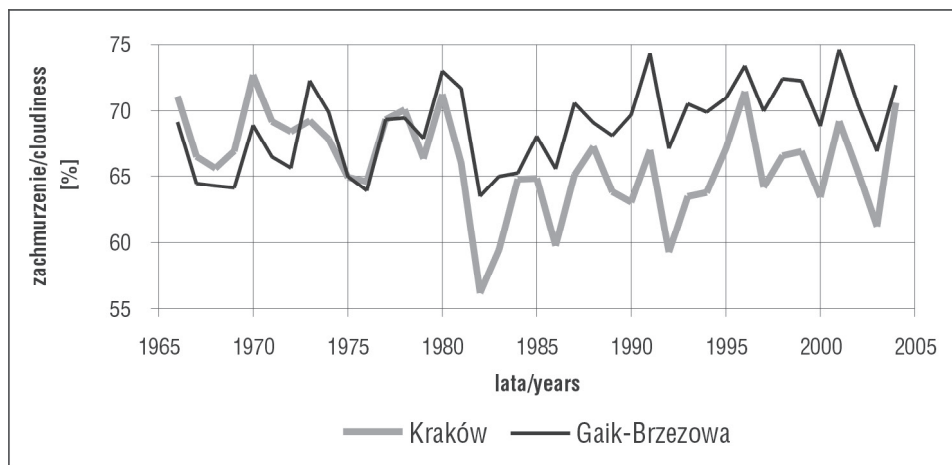
Charakterystyka zachmurzenia

Na podstawie danych z lat 1966-2004 średni roczny stopień zachmurzenia wynosi w Krakowie 66%, podczas gdy w Gaiku-Brzezowej jest o 3% wyższy. Najmniejsze zachmurzenie na obydwu stacjach wystąpiło w 1982 r. i wynosiło 56% w Krakowie i 63% w Gaiku-Brzezowej. Największe zachmurzenie (73%) zanotowano w Krakowie w 1970 r., natomiast w Gaiku (75%) w 2001 roku.

Porównanie wieloletniego przebiegu zachmurzenia w Krakowie i Gaiku-Brzezowej (ryc. 1) wykazuje duże podobieństwo w tendencji na obu stacjach oraz bliskie wartości zachmurzenia w okresie przed powstaniem zbiornika (lata 1966-1980). Natomiast później, w latach 1981-2004, zachmurzenie odznacza się większymi wartościami w Gaiku-Brzezowej (średnio o 6%). Największy przyrost zachmurzenia w Gaiku (o 5-6%) nastąpił w listopadzie i grudniu oraz w marcu (o 7%), natomiast niewielki spadek zachmurzenia (o 2%) zaznaczył się w kwietniu i lipcu (Matuszko, 2005).

Na obydwu stacjach (ryc. 2) najbardziej zachmurzonym miesiącem w roku jest grudzień (odpowiednio 75 i 77%), najmniej zachmurzonym sierpień (56 i 60%). Najmniejsze różnice w wielkości zachmurzenia (poniżej 1%) przypadają na styczeń i listopad, największe (6%) na kwiecień.

W zachmurzeniu Krakowa i Gaika-Brzezowej (ryc. 3) dominują średnio w ciągu dnia 3 rodzaje chmur: Ac, Sc i Cu, przy czym w Krakowie jest więcej (o 7%) Sc, a w Gaiku-Brzezowej (o 5%) Cu. Najrzadziej pojawiają się, podobnie jak w całej Polsce chmury, Cs, Cc i Cb. Występowanie poszczególnych rodzajów

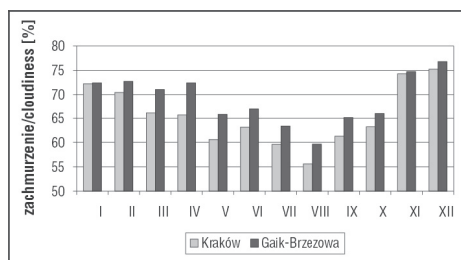


Ryc. 1. Przebieg wieloletni wielkości zachmurzenia (w %) w latach 1966-2004 w Krakowie i Gaiku-Brzezowej

Fig. 1. Multi-annual course of the cloudiness (in %) in the years 1966-2004 in Cracow and Gaik-Brzezowa

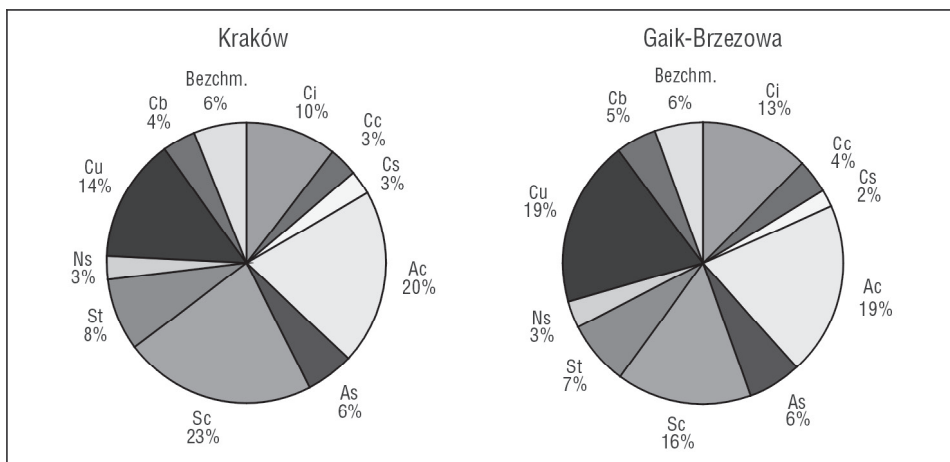
chmur na obydwu stacjach charakteryzuje sezonowość. Chmurami o wyraźnie zaznaczonym przebiegu rocznym z maksimum w lecie i minimum w zimie są Ci, Ac, Cu i Cb; odwrotny, tj. z maksimum w zimie, przebieg w ciągu roku wykazują chmury St i As (ryc. 4). Bardzo wyraźny przebieg dzienny mają chmury Cu, z maksimum w południe i St z maksimum rano.

Warto jednak wspomnieć, że udział procentowy poszczególnych rodzajów chmur w Krakowie od początku obserwacji nefologicznych do czasów współczesnych zmienił się. Do końca lat siedemdziesiątych o zachmurzeniu nad Krakowem decydowały w znacznym stopniu (około 30%) chmury warstwowe St i Ns, potem ich rola spadła, a wzrósł udział chmur Ac i Sc. Prawdopodobnie przyczyną tak wysokiego wcześniej udziału chmur warstwowych były warunki lokalne Krakowa: położenie w słabo przewietrzanej i wilgotnej dolinie Wisły oraz ograniczona wymiana powietrza wskutek zalegania warstw inwersyjnych we wklęsłej formie terenowej. Zmeliorowanie terenów podmokłych w Krakowie, osuszenie powietrza nad miastem na skutek urbanizacji i emisja sztucznego ciepła do atmosfery spowodowały spadek częstości wystę-

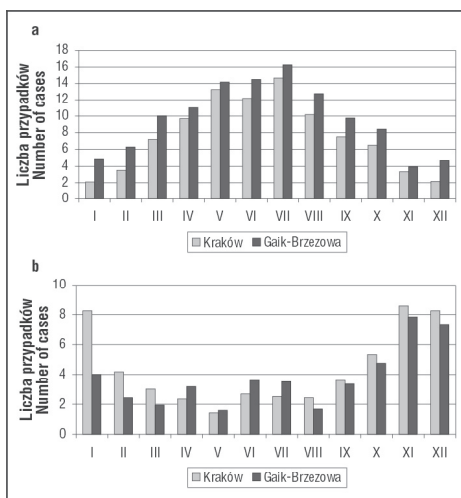


Ryc. 2. Przebieg roczny średniej miesięcznej wielkości zachmurzenia (w %) w Krakowie i Gaiku-Brzezowej (1966-2004)

Fig. 2. Annual course of average monthly cloudiness (in %) in Cracow and Gaik-Brzezowa (1966-2004)



Ryc. 3. Udział występowania (w %) rodzajów chmur w Krakowie i Gaiku-Brzezowej
Fig. 3. Percentage of cloud genera (%) in: Cracow and Gaik-Brzezowa



Ryc. 4. Przebieg roczny średniej miesięcznej liczby przypadków występowania chmur a) Cu, b) St w Krakowie i Gaiku-Brzezowej

Fig. 4. Annual course of the mean monthly number of cases of the appearance of the a) Cu, b) St in Cracow and Gaik-Brzezowa

powojowania niskich chmur warstwowych i odsłonięcie chmur (Sc i Ac) leżących wyżej (Matuszko, 2003).

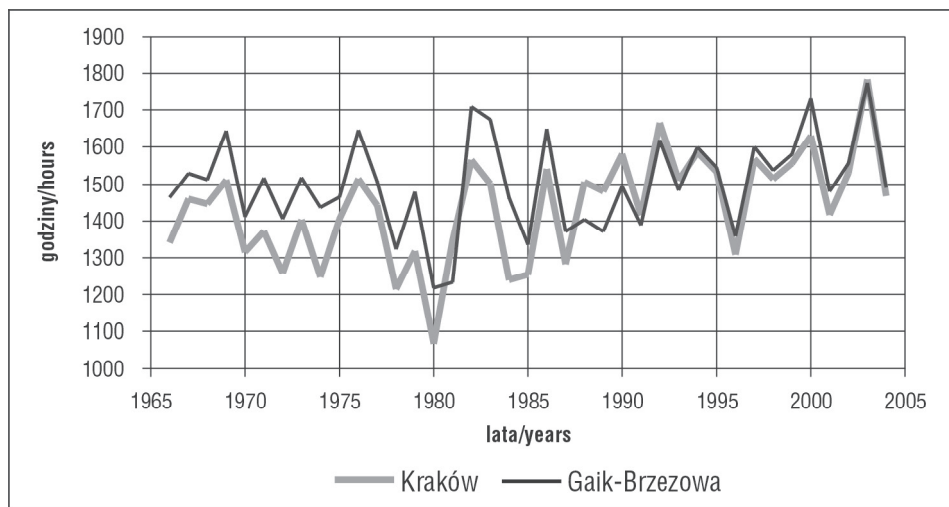
Także w Gaiku-Brzezowej po powstaniu zbiornika wodnego w strukturze zachmurzenia można zauważyć istotne zmiany ilościowe. W lecie (czerwiec, lipiec, sierpień) rano udział chmur St i Ns zmniejszył się o ponad połowę. Zimą (grudzień, styczeń, luty) w południe po powstaniu zbiornika dwukrotnie zwiększyła się częstość występowania chmur Cu i o prawie tyle samo zmalała częstość pojawiania się St. Także wieczorem o ponad połowę zmniejszyła się częstość występowania chmur St oraz nieba bezchmurnego, natomiast częściej pojawiają się chmury Ac i Sc (Matuszko 2005).

Liczba dni bezchmurnych jest średnio w wieloletiu większa w Gaiku-Brzezowej (11,6 dni w roku) niż w Krakowie (10,7). Lecz zadecydowała o tym duża liczba takich dni w okresie

przed powstaniem zbiornika, gdyż wtedy przewaga dni bezchmurnych w Gaiku-Brzezowej była o ponad 2 dni większa, a obecnie ich liczba jest taka sama jak w Krakowie. Interesujący jest fakt dużej liczby dni bezchmurnych w latach 1981–1990, kiedy to średnia ich liczba w Krakowie dochodziła do 18 w roku, a w 1990 r. osiągnęła 27 dni. Ciekawe jest również, że w porównaniu do wcześniejszego okresu największy przyrost liczby przypadków nieba bezchmurnego wystąpił w terminie porannym. Może mieć to związek ze spadkiem częstości występowania chmur St, które najczęściej pojawiają się rano i do niedawna razem z chmurami Ns dominowały w strukturze zachmurzenia zarówno nad Krakowem, jak i Gaikiem-Brzezową.

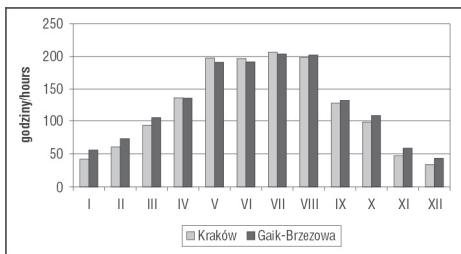
Usłonecznienie w Krakowie i Gaiku-Brzezowej

Na podstawie danych z lat 1966–2004 średnia roczna suma usłonecznienia w Krakowie wynosi 1438,7 godzin, a w Gaiku-Brzezowej 1500,7 godzin. Warto jednak zaznaczyć, że na obydwu stacjach od lat osiemdziesiątych zaznacza się (ryc. 5) wzrost usłonecznienia, wyraźniejszy w Krakowie (o 137 godzin rocznie) niż w Gaiku-Brzezowej (tylko 47 godzin). Zwiększenie liczby godzin ze słońcem związane jest prawdopodobnie z czynnikami cyrkulacyjnymi, gdyż ostatnie dwudziestolecie charakteryzuje wzmożona aktywność sytuacji antycyklonalnych i nasilone występowanie nad Polską mas powietrza polarno-kontynentalnego, sprzyjających pogodzie ze słońcem. Usłonecznienie na obydwu stacjach ma bardzo podobny przebieg (ryc. 5) i zbliżone wartości po 1980 r., podczas gdy przed po-



Ryc. 5. Przebieg wieloletni usłonecznienia (w godzinach) w latach 1966–2004 w Krakowie i Gaiku-Brzezowej

Fig. 5. Multi-annual course of the sunshine duration (in hours) in the years 1966–2004 in Cracow and Gaik-Brzezowa



Ryc. 6. Przebieg roczny średniej miesięcznej sumy usłonecznienia (w godzinach) w Krakowie i Gaiku-Brzezowej (1966-2004)

Fig. 6. Annual course of average monthly sunshine duration (in hours) in Cracow and Gaik-Brzezowa (1966-2004)

godzin. Wzrost usłonecznienia w Gaiku-Brzezowej był jednak prawie trzykrotnie mniejszy w skali roku niż w Krakowie, prawdopodobnie z powodu zwiększenia i zmiany struktury zachmurzenia. Największe usłonecznienie na obydwu stacjach wystąpiło w 2003 r. i w Krakowie wynosiło 1784 godziny, w Gaiku-Brzezowej było nieco niższe (1774). Minimalne sumy roczne usłonecznienia wystąpiły w 1980 r. (Kraków - 1067, Gaik-Brzezowa -1218).

W ciągu roku największe usłonecznienie przekraczające 200 godzin miesięcznie notuje się od maja do sierpnia, przy czym w Krakowie jest ono wyższe niż w Gaiku-Brzezowej w kwietniu, maju, czerwcu i lipcu, zaś niższe w pozostałych miesiącach roku (ryc. 6). Większe usłonecznienie w Krakowie od kwietnia do czerwca jest związane z wyraźnie większym w tym okresie zachmurzeniem w Gaiku-Brzezowej (ryc. 2). Warto jednak podkreślić, że w chłodnej połowie roku, mimo że w Krakowie zachmurzenie jest mniejsze niż w Gaiku-Brzezowej, mniejsze jest też usłonecznienie. W okresie grzewczym emisja sztucznego ciepła do atmosfery powoduje wysuszenie powietrza nad miastem i spadek częstości występowania chmur warstwowych, które dominują o tej porze roku, zaś zmniejszone usłonecznienie wywołane jest wzmogoną koncentracją zanieczyszczeń ograniczającą dopływ promieniowania słonecznego.

Podobieństwa i różnice w zachmurzeniu Krakowa i Gaika-Brzezowej

Porównanie warunków nefologicznych i solarnych Krakowa i Gaika-Brzezowej wykazuje zarówno podobieństwa, jak i różnice w przebiegu i charakterze tych elementów na obydwu stacjach.

Podobieństwa wynikają głównie z ogólnych prawidłowości w skali globalnej, związanych z procesami cyrkulacyjnymi:

wstaniem zbiornika warunki solarne Gaika-Brzezowej były korzystniejsze niż Krakowa. Podobne wartości zachmurzenia w Gaiku-Brzezowej i Krakowie w latach 1966-1980, a znacznie wyższe w tym czasie usłonecznienie w Gaiku-Brzezowej mogą być związane z różnicą przezroczystości atmosfery spowodowaną zanieczyszczeniem powietrza w mieście lub zmianami jakościowymi zachmurzenia zarówno w Krakowie, jak i Gaiku-Brzezowej.

Średnie roczne usłonecznienie w Gaiku-Brzezowej przed powstaniem zbiornika wynosiło 1472 godziny, a po jego utworzeniu wzrosło do 1519

- W tym samym roku wystąpiły: minimalna średnia roczna wielkość zachmurzenia (odpowiednio w Krakowie 56% i Gaiku-Brzezowej 63% - 1982 r.) oraz minimalna (1067 i 1218 godzin - 1980 r.) i maksymalna suma roczna usłonecznienia (1784 i 1774 godziny - 2003 r.).
- W przebiegu rocznym wyraźnie zaznacza się duże zachmurzenie w zimie, z maksimum w grudniu (odpowiednio 75 i 77%), mniejsze zachmurzenie występuje na wiosnę, w lecie i wczesną jesienią, minimum przypada na sierpień (odpowiednio 56 i 60%).
- Występowanie poszczególnych rodzajów chmur w Krakowie i Gaiku-Brzezowej charakteryzuje sezonowość. Chmurami o wyraźnie zaznaczonym przebiegu rocznym z maksimum w lecie i minimum w zimie są Ci, Ac, Cu i Cb; odwrotny, tj. z maksimum w zimie, przebieg w ciągu roku wykazują chmury St i As.
- Bardzo wyraźny przebieg dzienny mają chmury Cu z maksimum w południe (rozwoj konwekcji) i St z maksimum rano (procesy wychładzania radiacyjnego).
- Od lat osiemdziesiątych widoczna jest tendencja wzrostowa usłonecznienia prawdopodobnie z powodu zmian wielkości i struktury zachmurzenia.
- Ze względów astronomicznych najwięcej godzin ze słońcem występuje od maja do sierpnia, z maksimum w lipcu (odpowiednio 206,5 i 203,6 godzin) i minimum w grudniu (34,1 i 43,6 godzin).

Różnice w zachmurzeniu i usłonecznieniu Krakowa i Gaika-Brzezowej uzależnione są prawdopodobnie od warunków lokalnych: rzeźby terenu, charakteru podłoża, sąsiedztwa zbiornika wodnego oraz czynników antropogenicznych.

- Kraków charakteryzuje mniejsze zachmurzenie (średnio o 3%) z powodu wysuszenia powietrza nad miastem w wyniku urbanizacji i emisji sztucznego ciepła.
- Po powstaniu zbiornika wodnego w Gaiku-Brzezowej nastąpił wzrost średniego rocznego zachmurzenia (średnio o 6%). Wyższa temperatura wody niż otaczającej atmosfery ociepla powietrze, wzbogaca je w wilgoć i przyczynia się do zwiększania chwiejności jego równowagi, z kolei zbiornik z wodami o niższej od otoczenia temperaturze ochładza powietrze, co doprowadza do kondensacji pary wodnej zawartej w powietrzu.
- Obecność zbiornika wodnego przyczyniła się do wyeliminowania zastoiska chłodu w dolinie Raby i spowodowała spadek częstości występowania chmur St, szczególnie zimą, gdy cieplejsza od otoczenia masa wody powoduje ograniczenie inwersji i nie sprzyja tworzeniu się mgły i niskich chmur warstwowych.
- W Gaiku-Brzezowej zwiększył się udział chmur konwekcyjnych, częściej niż w Krakowie (w południe o 7%) obserwuje się tu chmury Cu.
- W Krakowie najczęściej (23%), podobnie jak w całej Polsce, występują chmury Sc, towarzyszące przeważającym u nas masom powietrza polarno-morskiego i frontom chłodnym.
- Gaik-Brzezowa posiada korzystniejsze warunki solarne, mimo że odznacza się większym zachmurzeniem. Chmury konwekcyjne, które obecnie dominują

w Gaiku-Brzezowej rozwijają się w pionie, posiadają przerwy w pokrywie chmur i ułatwiają tym samym dopływ promieniowania bezpośredniego. Wielkość usłonecznienia w Krakowie może obniżać zmętnienie atmosfery wywołane koncentracją zanieczyszczeń w mieście położonym w słabo przewietrzanej dolinie Wisły.

Wnioski

Zachmurzenie i usłonecznienie są elementami klimatu bardzo silnie uzależnionymi od wielu czynników wywołujących sprzężenia zwrotne w systemie klimatycznym. Urbanizacja czy obecność zbiornika wodnego mogą wpływać na procesy fizyczne zachodzące w atmosferze i modyfikować warunki nefologiczne i solarne. W drugiej połowie XX wieku w Krakowie nastąpiła zmiana w strukturze zachmurzenia. Zauważono wzrost częstości występowania pewnych rodzajów chmur (Ci, Ac, Sc, Cu, Cb), a spadek innych (Cc, Cs, St, Ns). Także w Gaiku po powstaniu zbiornika wodnego zmienił się udział poszczególnych rodzajów chmur; częściej obserwowane są chmury Cu, a o połowę rzadziej niż poprzednio chmury St. Nasuwa się pytanie, czy te tendencje się równoważą i wielkość zachmurzenia pozostaje bez zmian? Możliwe, że następuje przyrost ilości chmur o dużej rozciągłości pionowej i małej rozciągłości poziomej. Powstają zatem pytania, czy ma to związek z działalnością człowieka; czy urbanizacja powoduje wzrost, czy spadek zachmurzenia? Czy obecność masy wody, wprowadzonej do środowiska, powoduje wzrost, czy spadek zachmurzenia? Przykład Krakowa dowodzi, że aglomeracja wywołuje wzmożenie częstości występowania chmur konwekcyjnych i spadek częstości występowania chmur St. Także w Gaiku częściej występują chmury Cu, a rzadziej St, ale przecież oddziaływanie miasta jest zupełnie inne niż wpływ zbiornika wodnego. Zmiany zachmurzenia wywołują zmiany usłonecznienia, ale nie zawsze spadek zachmurzenia powoduje wzrost usłonecznienia. Zarówno czynniki cyrkulacyjne, jak i działalność człowieka mogą zmienić strukturę zachmurzenia i przy wzroście udziału chmur o budowie pionowej doprowadzić do wzrostu usłonecznienia.

Postawione wyżej pytania i wątpliwości uświadamiają, jak wiele problemów dotyczących stosunków nefologicznych i solarnych pozostaje nierozstrzygniętych, a zagadnienie oceny wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych należy chyba do najtrudniejszych i wymaga dalszych badań.

LITERATURA

- Hess M., 1965, *Piętra klimatyczne w Polskich Karpatach Zachodnich*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 11, ss. 290.
- Matuszko D., 2003, *Cloudiness Changes in Cracow in the 20th Century*, International Journal of Climatology, 23, 8, 975-984.

- Matuszko D., 2005, *Próba określenia wpływu zbiornika wodnego na zachmurzenie i usłonecznienie (na przykładzie Zbiornika Dobczyckiego)*, [w:] K.Krzemień, J.Trepińska, A.Bokwa (red.), *Rola stacji terenowych w badaniach geograficznych*, IGiGP UJ, 79-91.
- Morawska-Horawska M., 1984, *Współczesne zmiany w zachmurzeniu i usłonecznieniu Krakowa na tle 120-lecia*, *Przegląd Geofizyczny*, 24, 3, 271-285.
- Morawska-Horawska M., 2002, *Tendencje zachmurzenia i usłonecznienia Krakowa w latach 1861-1990*, *Działalność naukowa profesora Władysława Gorczyńskiego i jej kontynuacja*, *Symposium Klimatologiczne na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika*, Toruń, 16-17 IX 1993, 342-351.
- Morawska-Horawska M., Olecki Z., 1996, *Wieloletnie zmiany w zachmurzeniu, usłonecznieniu i dopływie promieniowania słonecznego w Krakowie*, *Folia Geographica, series Geographica-Physica*, 26-27, 59 - 74.
- Olecki Z., 1975, *Oddziaływanie dużego ośrodka miejsko-przemysłowego na dopływ promieniowania słonecznego (na przykładzie Krakowa)*, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 41, 37-86.
- Olecki Z., 1989, *Bilans promieniowania słonecznego w dorzeczu górnej Wisły*, *Rozprawy Habilitacyjne UJ*, 157, ss. 126.
- Olecki Z., 2002, *Differentiation of the Solar Conditions in the Carpathian Foothills during 1971-1997*, *Prace Geograficzne IGiGP UJ*, 109, 97-109.

COMPARISON OF THE NEPHOLOGICAL AND SOLAR CONDITIONS IN CRACOW AND GAIK-BRZEZOWA

SUMMARY

The aim of the study is to compare the nephological and solar conditions in Cracow and Gaik-Brzezowa and to determine the influence of circulation and local factors on cloudiness and sunshine. The study makes use of observations of cloudiness and measurements of effective sunshine duration that were carried on at the climatological stations of the Institute of Geography and Spatial Management of the Jagiellonian University in Cracow and Gaik-Brzezowa in the years 1966-2004.

The comparison of the nephological and solar conditions at the two stations shows both similarities and differences in the course and character of these elements. The similarities mainly result from general trends on the global scale which are connected with circulation processes.

The differences in cloudiness and sunshine for Cracow and Gaik-Brzezowa are probably due to local conditions, landscape, ground type, neighbourhood of a reservoir, as well as anthropogenic factors:

- Cracow has smaller cloudiness than Gaik-Brzezowa I (by 3% on average).
- After the reservoir was constructed in Gaik-Brzezowa the mean annual cloudiness grew I (by 6% on average).
- The presence of the reservoir contributed to eliminating the frost pocket in the Raba valley and caused a drop of the frequency of appearance of the St clouds.
- The share of convective clouds in Gaik-Brzezowa has risen, Cu clouds are observed more often there than in Cracow I (at noon by 7%).

- Sc clouds on average appear most often in Cracow (23%) just like all over Poland, accompanying the maritime polar air mass and cold fronts.
- Gaik-Brzezowa has better solar conditions despite the higher cloudiness.

Translated by Agata Witkowska