

**KRZYSZTOF BŁĄŻEJCZYK, ANNA KUNERT, MAGDALENA OŹGA**

## **STOSUNKI RADIACYJNE TERENÓW ZURBANIZOWANYCH O RÓŻNEJ WIELKOŚCI**

Abstrakt: Praca zawiera niektóre wyniki obserwacji aktywności promieniowania słonecznego prowadzonych na stacjach naukowych Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN oraz Instytutu Geografii Akademii Bydgoskiej. W obecnym opracowaniu przedstawiono zagadnienie stosunków radiacyjnych miasta i jego strefy podmiejskiej. Badano wpływ cyrkulacji atmosfery oraz wielkości miasta na dopływ promieniowania słonecznego do warstwy granicznej.

Słowa kluczowe: promieniowanie słoneczne, klimat miasta, cyrkulacja atmosfery.

### **1. Wprowadzenie**

Jedną ze specyficznych cech klimatu miasta jest osłabienie dopływu promieniowania słonecznego. Dotyczy to zarówno wnętrza kanionów ulicznych, jak i zewnętrznej warstwy granicznej (poziomu dachów). W pierwszym przypadku osłabienie promieniowania wynika z zacielenia powierzchni dna miasta przez okoliczne budynki (Błażejczyk 2002; Błażejczyk, Baranowski 2003; Błażejczyk, Oźga 1999; Matzarakis 2001). W przypadku obserwowanego w wielu badaniach osłabienia promieniowania w warstwie powietrza nad poziomem dachów wiąże się to z czasą zanieczyszczenia (Krawczyk 1968; Oke 1987).

Celem obecnego opracowania jest przedstawienie wstępnych wyników badań dotyczących wpływu cyrkulacji atmosferycznej i wielkości miasta na stosunki radiacyjne terenów zurbanizowanych o różnej wielkości (Warszawa, około 1,5 mln mieszkańców i Bydgoszcz, około 350 tys. mieszkańców) oraz ich otoczenia.

### **2. Materiał i metoda**

Podstawowe materiały źródłowe pochodzą z automatycznych stacji meteorologicznych IGiPZ PAN. Działają one od 1999 r. i są zlokalizowane w centrum Warszawy, na dachu budynku przy ul Twardej 51/55 (stacja miejska) oraz w Borowej Górze (terenowa stacja pozamiejska, leżąca około 35 km na NNE od Warszawy).

Na obydwu stacjach działa taki sam system pomiarowy, na który składają się: rejestratory Campbell (CR10 i CR23), czujniki termiczno-wilgotnościowe Vaisala, anemometry Young, barometry Vaisala oraz pyranometry CM6 Kipp&Zonen.

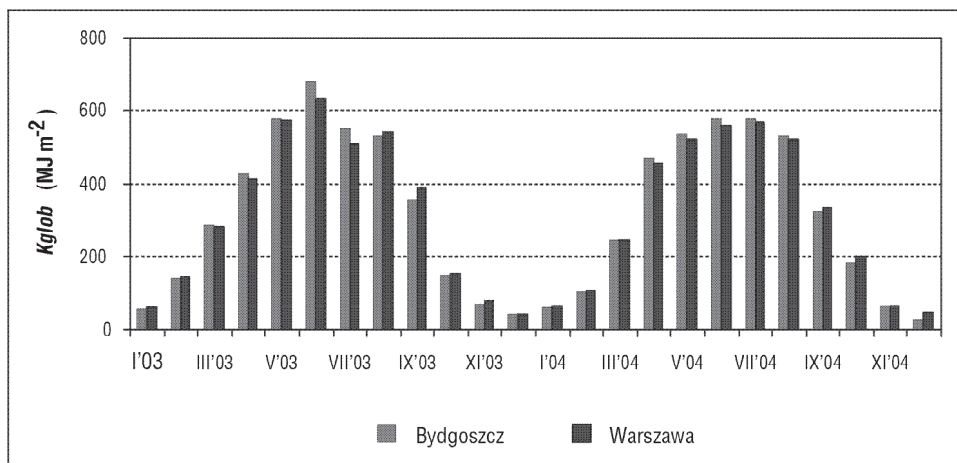
W celach porównawczych wykorzystano także serię pomiarów prowadzonych na stacji naukowej Instytutu Geografii Akademii Bydgoskiej. Jest ona wyposażona w identyczny jak w Warszawie system pomiarowy i działa od 2002 r. Wykorzystano też serie pomiarów pilotażowych przeprowadzonych w maju 2003 r. w Pieczyskach (około 35 km na N od Bydgoszczy). Zastosowano tu rejestratory DR03 firmy Ellab oraz pyranometry CM6 Kipp&Zonen. W obecnym opracowaniu oparto się na dwuletniej serii (2003-2004) pomiarów aktywności promieniowania w Warszawie i w Bydgoszczy. Wykorzystano także wyniki równoczesnych pomiarów prowadzonych na stacjach miejskich i pozamiejskich w maju 2003 r.

Kierunek przepływu mas powietrza w warstwie przyziemnej określono na podstawie wskazań anemometrów ze stacji w Borowej Górze (dla obszaru Warszawy) i w Bydgoszczy (dla tego obszaru badań). Analizie poddano sumy miesięczne promieniowania całkowitego oraz sumy dobowe i godzinne *Kglob* (w Warszawie i Borowej Górze) podczas wybranych dni o różnym kierunku przepływu powietrza w warstwie przygruntowej.

### 3. Wyniki

#### 3.1. Dopływ promieniowania słonecznego a wielkość miasta

Porównując dwuletnie serie pomiarów całkowitego promieniowania słonecznego z Bydgoszczy i Warszawy można zauważyć wyraźne regularności (ryc. 1).

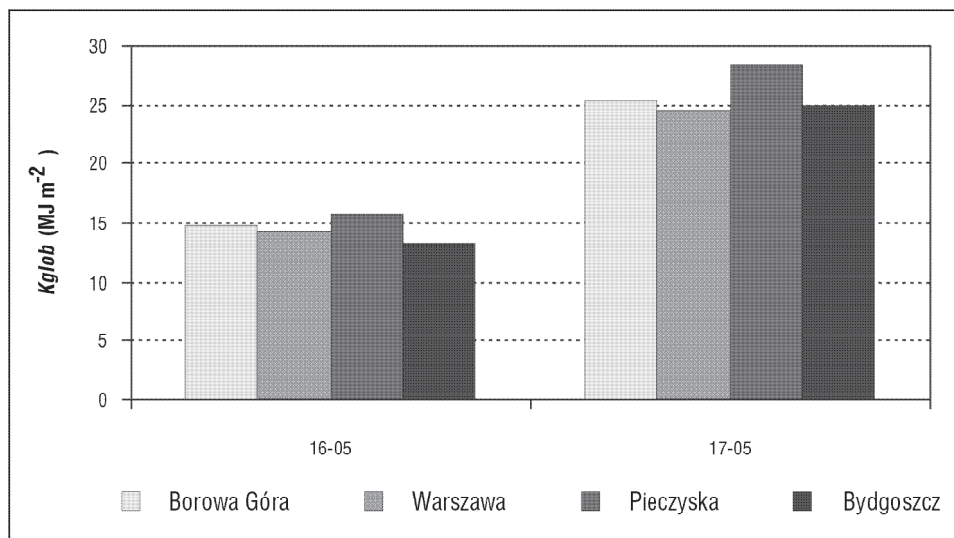


Ryc. 1. Sumy miesięczne całkowitego promieniowania słonecznego (*Kglob*) w Warszawie i Bydgoszczy w latach 2003 i 2004

Fig. 1. Monthly totals of global solar radiation (*Kglob*) in Warsaw and Bydgoszcz, 2003-2004

W miesiącach od marca do sierpnia zaznacza się niewielkie uprzywilejowanie radiacyjne Bydgoszczy. Miesięczne sumy promieniowania są tam o 5-45 MJ m<sup>-2</sup> większe niż w Warszawie. W pozostałych miesiącach sytuacja jest odwrotna, a sumy *Kglob* w Warszawie są nieco większe niż w Bydgoszczy. Obserwowane różnice w dopływie całkowitego promieniowania słonecznego do podłoża atmosfery wynikają raczej z położenia geograficznego niż z wielkości miasta. Przewaga *Kglob* w Bydgoszczy późną wiosną i latem wynika głównie z większej długości dnia w tym mieście w porównaniu z Warszawą. Jesienią i zimą mamy do czynienia z przeciwną sytuacją, dni są dłuższe w Warszawie niż w Bydgoszczy.

Wyniki obserwacji na stacjach usytuowanych w badanych miastach wskazują na niewielkie różnice sum miesięcznych *Kglob*. Niemniej, wpływ miasta na dopływ promieniowania słonecznego zaznacza się jego osłabieniem w stosunku do terenów otaczających. Dlatego też podjęto próbę porównania czy duże miasto, jakim jest Warszawa, silniej osłabia dopływ *Kglob* niż miasto o średniej wielkości (Bydgoszcz). Wyniki badań terenowych przeprowadzonych w maju 2003 r. potwierdzają tę tezę. Sumy dobowe *Kglob* w obydwu miastach były do siebie zbliżone. Jednakże, przy takim samym kierunku wiatru w warstwie przygruntowej (SW i S) sumy promieniowania w strefie pozamiejskiej były znacznie wyższe w Pieczyskach niż w Borowej Górze (ryc. 2). Świadczy to o większym wpływie czasy zanieczyszczeń występującej nad miastem na stosunki radiacyjne w terenach podmiejskich w przypadku Warszawy niż Bydgoszczy.



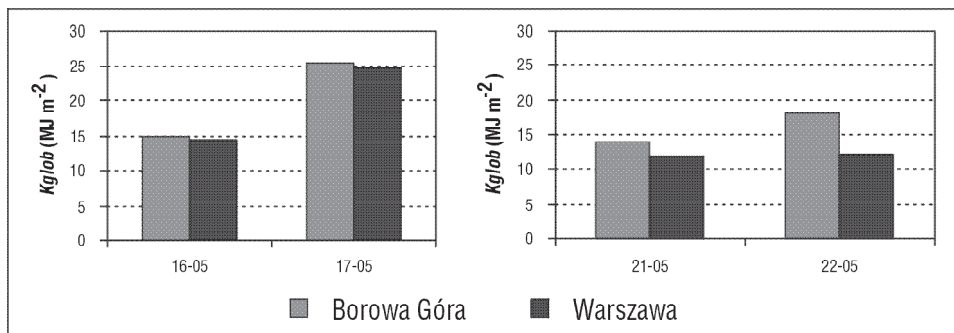
Ryc. 2. Sumy dobowe całkowitego promieniowania (*Kglob*) na różnych stacjach terenowych, 16-17 maja 2003 r.

Fig. 2. Daily totals of global solar radiation (*Kglob*) at various stations, 16-17 May, 2003

### 3.2. Cyrkulacja powietrza a stosunki radiacyjne

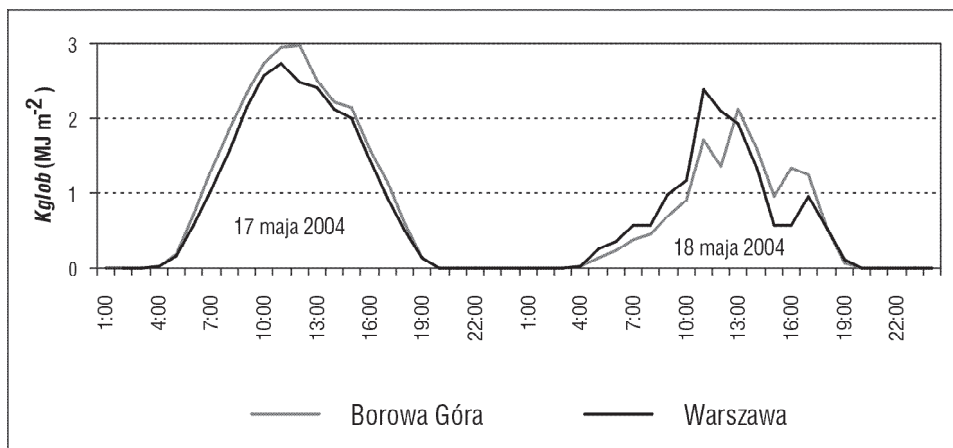
Do określenia, jaki jest wpływ cyrkulacji powietrza na dopływ promieniowania do warstwy granicznej w mieście i poza miastem wybrano dni z wiatrem wiejącym – w stosunku do stacji pozamiejskiej - od strony Warszawy i w jej kierunku. W dniach 16 i 17 maja obserwowano wiatr południowo zachodni i południowy, a więc Borowa Góra znajdowała się po stronie zawietrznej aglomeracji warszawskiej. Odmienne warunki panowały 21 i 22 maja, kiedy to napływało powietrze z północnego wschodu i wschodu, a więc stacja pozamiejska leżała po stronie dowietrznej Warszawy. Na rycinie 3 widać wyraźne różnice sum dobowych całkowitego promieniowania słonecznego w dniach o różnym kierunku wiatru. Podczas napływu nad Warszawę powietrza z kierunków NE i E różnice *Kglob* pomiędzy Borową Górą a centrum miasta są wyraźnie większe niż w dniach o napływie powietrza z południowego zachodu. Świadczy o docieraniu wtedy nad teren Borowej Góry czasy zanieczyszczeń powietrza znad Warszawy.

Przypuszczenie to potwierdza sytuacja obserwowana 17 i 18 maja. Wiał wtedy wiatr południowy (a więc docierający do Borowej Góry znad miasta). W pierwszym z badanych dni godzinne sumy *Kglob* były w centrum Warszawy mniejsze niż po jej stronie zawietrznej. Nocą z 17 na 18 maja nastąpiła zmiana masy powietrza z PPMs na PPM i nad centrum miasta napłynęło stosunkowo czyste powietrze z południa, a czasa zanieczyszczeń przesunęła się na północ od miasta, powodując tam w godzinach przedpołudniowych znaczne osłabienie dopływu promieniowania słonecznego. Po południu czasa zanieczyszczeń przesunęła się poza Borową Górę i relacje *Kglob* powróciły do oczekiwanych przy tego typu cyrkulacji (ryc. 4). W przypadku rejonu Bydgoszczy zjawisko przesunięcia się czasa zanieczyszczeń na odległość 35 km od miasta nie było obserwowane.



Ryc. 3. Sumy dobowe całkowitego promieniowania słonecznego (*Kglob*) w Warszawie i Borowej Górze w dniach o różnym kierunku wiatru: 16 i 17 maja 2003 r. – wiatr S-SW, 21 i 22 maja 2003 r. – wiatr E-NE

Fig. 3. Daily totals of global solar radiation (*Kglob*) in Warsaw downtown and in Borowa Góra (rural area) at days with various wind direction: 16-17 May, 2003: S-SW wind, 21-22 May, 2003: E-NE wind



Ryc. 4. Sumy godzinne całkowitego promieniowania słonecznego ( $K_{glob}$ ) w Warszawie i Borowej Górze w dniach 17 maja (wiatr SW) i 18 maja (wiatr S) 2003 r.

Fig. 4. Hourly totals of global solar radiation ( $K_{glob}$ ) in Warsaw downtown and Borowa Góra (rural area) at 17 May, 2003 (SW wind) and 18 May, 2003 (S wind)

## 4. Wnioski

Terenowe stacje meteorologiczne pozwalają na badanie dynamiki klimatu miasta i jego wpływu na klimat terenów otaczających. Widać to na przykładzie referowanych wyników pomiarów aktywności promieniowania słonecznego.

Stwierdzono, że w przypadku dużych miast (Warszawa i Bydgoszcz) wielkość obszaru nie ma decydującego znaczenia w kształtowaniu dopływu promieniowania słonecznego do wnętrza miasta. Wydaje się, że pierwszorzędne znaczenie ma położenie geograficzne w centrum i na północy Polski i związane z tym sezonowe różnice w długości dnia.

Niemniej zaobserwowano oddziaływanie wielkości miasta na zasięg przestrzenny czaszy zanieczyszczeń. W przypadku półtoramilionowej aglomeracji warszawskiej zasięg ten wynosi co najmniej 35 km po stronie zawietrznej. W Bydgoszczy, w tej samej odległości od centrum miasta, nie obserwowano docierania czaszy zanieczyszczeń.

Na stosunki radiacyjne w mieście i strefie podmiejskiej wpływ ma cyrkulacja powietrza. Uprzywilejowanie radiacyjne strefy podmiejskiej występuje wyraźnie wtedy, gdy obszar ten znajduje się po stronie dowietrznej miasta. Uprzywilejowanie to zmniejsza się, gdy nad obszar pozamiejski napływa powietrze z miasta. Z tego też względu w badaniach stosunków radiacyjnych obszarów zurbanizowanych i ich otoczenia celowe wydaje się założenie co najmniej trzech stacji aktywności promieniowania: w centrum miasta oraz po stronie dowietrznej i zawietrznej w stosunku do przeważających kierunków wiatru.

**LITERATURA:**

- Błażejczyk K., 2002, *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*. Dok. Geogr., 26, ss. 160.
- Błażejczyk K., Baranowski J., 2003, Solar and UV radiation in Warsaw downtown, Proc. Vol. 1 Fifth Int. Conf. on Urban Climate, 1-5 Sept. 2003, Łódź, Poland, 263-266.
- Błażejczyk K., Oźga M., 1999, Radiation balance of downtown Warsaw on pedestrian and over-roof levels, Proc. 15th int. Congress of Biometeorology & Int. Conf. on Urban Climatology, Sydney, Australia, 8-12 Nov., 1999 (wyd. na CD-ROM).
- Krawczyk B., 1968, Badania zmętnienia atmosfery w Warszawie w latach 1961-1963, Przegł. Geogr., 40, 4, 823-832.
- Matzarakis A., 2001, Die thermische Komponente des Stadtklimas, Ber. Meteorol. Inst. Univ. Freiburg, ss 267.
- Oke T.R., 1987, *Boundary layer climates* (second edition), Methuen, London-New York.

**RADIATION REGIME OF URBANISED AREAS WITH VARIOUS SIZE****SUMMARY**

Reduction of global solar radiation inside and over the city is one of the specific features of urban climate. The first reduction is caused by shading of street canyons and the second one – by a “hat” of air pollution. The aim of the paper is to present preliminary results of the research dealing with the influence of air circulation and the size of the city on monthly, daily and hourly totals of global solar radiation (*Kglob*) inside and outside the city.

There were found significant differences in radiation regime depending on air circulation. However, the size of the city did not influence monthly totals of *Kglob*. They depended mostly on latitude that influence seasonal changes in day time hours. The influence of air pollution “hat” was well observed at the distance of about 40 km from Warsaw (1.5 mln of population). However, at smaller city (Bydgoszcz, 0.35 mln of population) such influence was not observed.

Krzysztof Błażejczyk  
Instytut Geografii  
Akademia Bydgoska im. Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania  
Polska Akademia Nauk, Warszawa

Anna Kunert  
Instytut Geografii  
Akademia Bydgoska im. Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz

Magdalena Oźga  
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania  
Polska Akademia Nauk, Warszawa