

Jerzy Skrzypski, Władysław Kamiński

**MIEJSKA WYSPA CIEPŁA W KRAKOWIE W ŚWIELE
ZASTOSOWANIA SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH
DO OPISU POLA TEMPERATURY POWIETRZA W EUROPIE**

**URBAN HEAT ISLAND IN CRACOW IN THE LIGHT
OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS APPLICATION IN THE
DESCRIPTION OF AIR TEMPERATURE FIELD IN EUROPE**

Analizowano rolę miejskiej wyspy ciepła w Krakowie w kształtowaniu warunków termicznych z punktu widzenia klimatologii. Obliczenia przeprowadzone przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych wykazały, że miejska wyspa ciepła (czasami zaznaczająca się bardzo wyraźnie) nie ujawnia wpływu antropogenicznej emisji ciepła na wzrost średniej temperatury powietrza.

WPROWADZENIE

Obserwowane w wielu wielkich miastach tendencje wzrostu temperatury powietrza w XIX i XX w. mogą mieć wg hipotez znanych naukowców następujące przyczyny:

1) schyłek małej epoki lodowej (w latach 1850 ± 50) (Obrębska-Starkłowa 1997),

2) rozwój miejskich wysp ciepła (rozrost miast i wzrost emisji ciepła ze spalania paliw) (Lewińska i in. 1990),

3) globalny wzrost temperatury antropogenicznie uwarunkowany zwiększaniem stężenia gazów cieplarnianych w troposferze (Sadowski 1996),

4) zmiana epok cyrkulacyjnych atmosfery w skali hemisferycznej skutkująca zmianami frekwencji poszczególnych typów cyrkulacji w skali regionalnej (Osuchowska-Klein 1987; Kożuchowski 1989; Kożuchowski, Marciniak 1986).

Analiza długofalowych zmian temperatury powietrza napotyka na liczne trudności związane zarówno z utworzeniem wiarygodnej bazy danych

(m. in. luki pomiarowe, niehomogeniczność serii pomiarowych, niedostateczna liczba stacji pomiarowych, wady w lokalizacji stacji i przyrządów pomiarowych), jak również z zakresu dokonujących się zmian (zmiany temperatury średniej rocznej rzędu $0,2-0,6^{\circ}\text{C}$ w ciągu 100 lat, dla średnich miesięcznych zimą rzędu $0,4-1,5^{\circ}\text{C}$ na 100 lat, dla średnich miesięcznych latem rzędu $0-0,2^{\circ}\text{C}$ na 100 lat).

Miejskie wyspy ciepła (mwc) były opisywane przez wielu badaczy w odniesieniu do bardzo licznych aglomeracji miejsko-przemysłowych. Mwc powstają tylko w dni ze sprzyjającą sytuacją cyrkulacyjną i meteorologiczną, wtedy ich natężenie może osiągać znaczące wartości. Istotnym zagadnieniem badawczym jest ocena, czy incydentalne mwc odzwierciedlają się we wzroście średnich wieloletnich wartości temperatur powietrza.

W niniejszym opracowaniu zanalizowano rolę krakowskiej mwc w kształtowaniu temperatury powietrza w ujęciu klimatologicznym (długofalowym).

W analizie tej skoncentrowano się na badaniach zmian średnich miesięcznych temperatur powietrza w Krakowie (dla stycznia, kwietnia, lipca i października) na tle rozkładu i tendencji zmian pola temperatury w ujęciu szerokoprzestrzennym, wykorzystując dane z kilkunastu stacji pomiarowych w Europie ze 140-lecia (1851–1990). Przyjęto następujące założenia badawcze: jeżeli pole temperatury powietrza nad Europą zostanie opisane dla kolejnych lat długiego okresu, to wpływ mwc w Krakowie na wartość temperatury powietrza w tym mieście powinien ujawnić się poprzez systematyczny jej wzrost (trend dodatni) i poprzez wzrost różnic pomiędzy temperaturą w Krakowie a innymi ośrodkami.

Do opisu pola temperatury wykorzystano sztuczne sieci neuronowe typu Radial Basis Function (RBF). Jak wcześniej wykazano, opis pola tą metodą jest dokładny (Kamiński, Skrzypski 1997).

WYNIKI I WNIOSKI

Do obliczeń wykorzystano dane z 19 stacji europejskich: Berlin-Tempelhof, Budapeszt, Czerniowce, Debreczyn, Erfurt-Binderleben, Gdańsk-Rębiechowo, Goerlitz, Hannover, Kaliningrad, Kijów, Kiszyniów, Koszalin, Kraków, Praga-Ruzyne, Szczecin, Wiedeń-Hohe Warte, Wilno, Warszawa-Okęcie, Wrocław II. W analizowanym okresie nie we wszystkich stacjach wykonywano pomiary. Niektóre stacje były po prostu zamykane, np. w okresie II wojny światowej.

Trendy zmian średniej miesięcznej temperatury powietrza mają charakter dyskretny przy równocześnie dużych fluktuacjach wartości w poszczególnych podokresach i latach. Dlatego w pierwszym etapie opracowania wszystkie szeregi czasowe dla każdej ze stacji pomiarowych poddano weryfikacji na istotność trendów zmian temperatury powietrza. W celu określenia trendów, dane pomiarowe (średnie miesięczne temperatury dla danego miasta) korelowano równaniem postaci

$$y = A + Bx \quad (1)$$

przy czym:

$$x = t - 1851 \quad (2)$$

gdzie:

y – średnia miesięczna temperatura dla danej stacji,

t – rok pomiaru.

Dla korelacji o postaci (1) obliczono współczynnik korelacji zgodnie z równaniem (3)

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^P (y_{\text{dos},i} - y_{\text{obl},i})^2}{\sum_{i=1}^P (y_{\text{dos},i} - y_{\text{sr}})^2}} \quad (3)$$

$$y_{\text{sr}} = \frac{\sum_{i=1}^P y_{\text{dos},i}}{P} \quad (4)$$

gdzie P jest liczbą pomiarów.

Zastosowano ponadto test F Fishera

$$F = \frac{R^2(P-2)}{1-R^2} \quad (5)$$

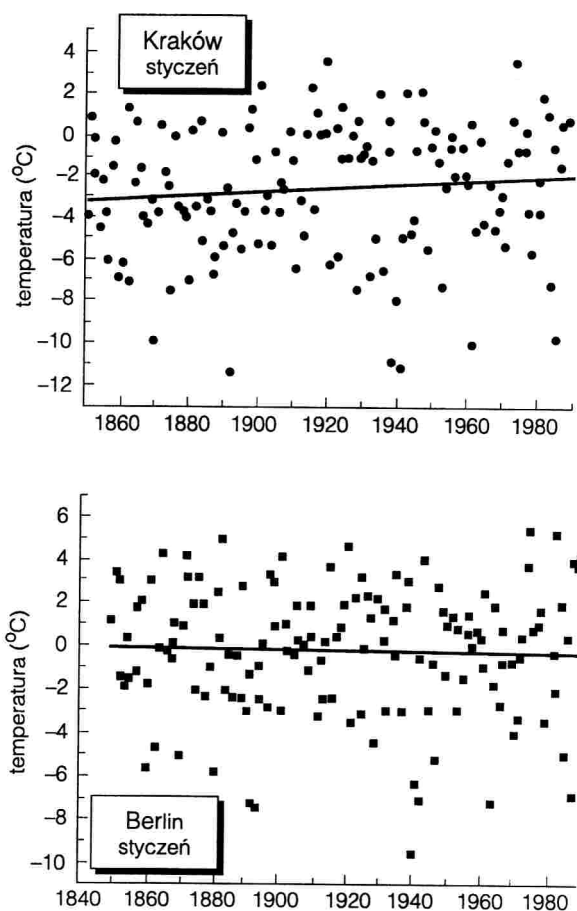
Przykładowe obliczenia dla Krakowa i Berlina dla miesięcy: styczeń, kwiecień, lipiec, październik zestawiono w tab. 1. Tabela zawiera współczynnik korelacji R , wartość testu F , współczynniki A , B oraz przedziały ufności tych współczynników. Wszystkie testy statystyczne obliczono dla poziomu ufności 99%. Podobne wyniki uzyskano dla pozostałych analizowanych miast. Przykładowe dane oraz proste trendu przedstawiono na rys. 1, 2, 3 i 4.

Tabela 1

Dane statystyczne dla Berlina i Krakowa dla wybranych miesięcy

The statistical data for Berlin and Kraków for chosen months

Miasto		Styczeń	Kwiecień	Lipiec	Październik
Kraków	A	$-3,3202 \pm 0,5334$	$7,5298 \pm 0,3045$	$18,5692 \pm 0,1958$	$8,5466 \pm 0,2891$
	B	$0,00865 \pm 0,00656$	$0,01116 \pm 0,00375$	$0,00233 \pm 0,00241$	$0,00433 \pm 0,00356$
	R	0,1114	0,24573	0,0821	0,10317
	δ	3,1388	1,791	1,152	1,7009
	F	1,712	8,965	0,88	1,47
Berlin	A	$-0,092 \pm 0,49851$	$8,2641 \pm 0,2739$	$18,9287 \pm 0,2442$	$9,2254 \pm 0,2572$
	B	$-0,00167 \pm 0,00613$	$0,00317 \pm 0,00337$	$-0,00172 \pm 0,003$	$0,00253 \pm 0,00316$
	R	0,0	0,07987	0,0	0,0678
	δ	2,933	1,611	1,423	1,513
	F	0,0	0,88	0,0	0,63

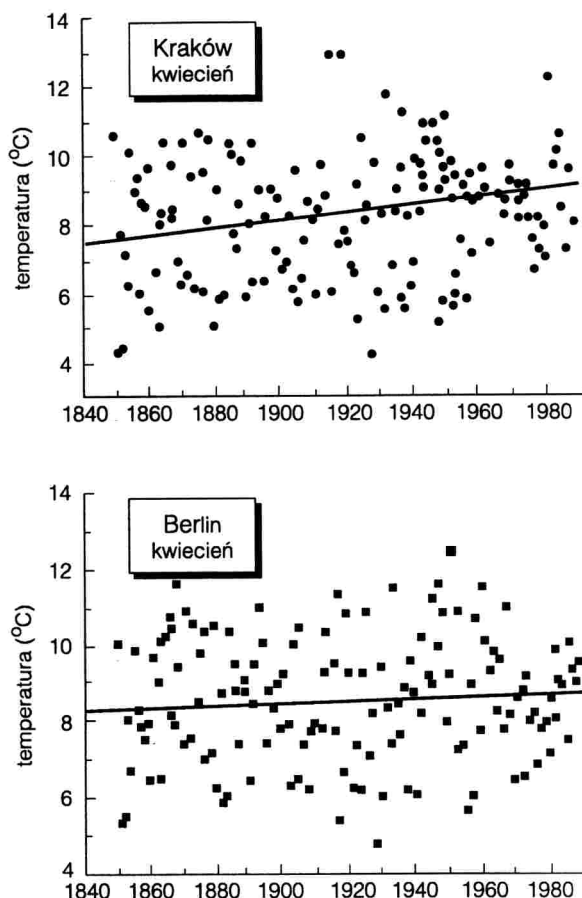


Rys. 1. Wartości i trend temperatur powietrza w styczniu

Fig. 1. The values and trend of air temperature in January

Trend zmian średniej temperatury jest niewielki i wzrostowy (dodatni współczynnik B) dla większości przypadków. Można jednak podać przykłady gdzie trend zmian w analizowanym okresie, tj. 1851–1990 ma charakter malejący np. dane dla Wrocławia. Jeżeli rozpatrzeć zmiany temperatur z punktu widzenia statystyki (przedział ufności współczynnika B, wartości współczynnika korelacji oraz testu Fishera, określającego czy korelację można uznać z określonym prawdopodobieństwem za istotną, okazało się, że trendy te – także dla Krakowa – choć zauważalne, nie są istotne ze statystycznego punktu widzenia, jak i na poziomie ufności równym 95%.

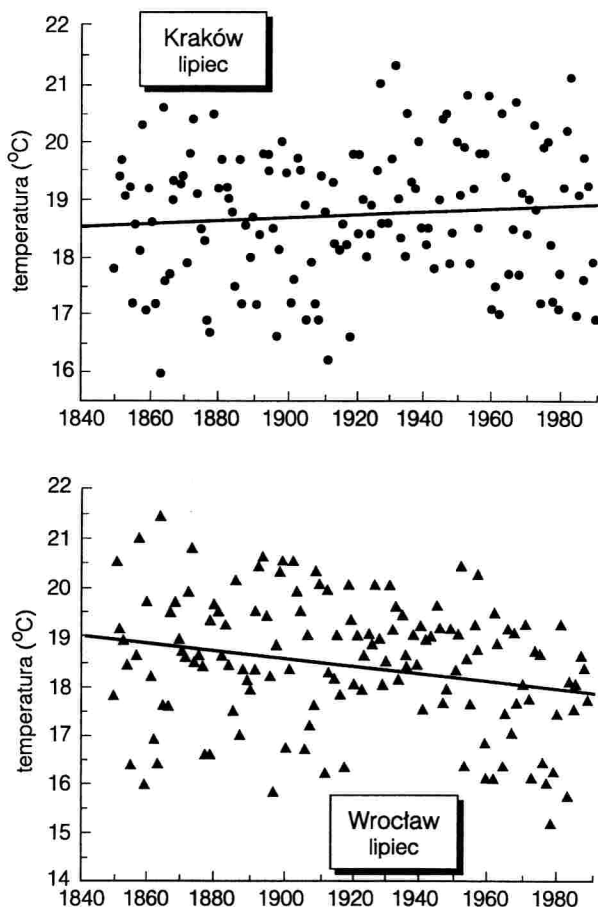
W drugiej części opracowania dokonano opisu pola temperatury powietrza w Europie dla poszczególnych lat i miesięcy. W eksperymentalnym zbiorze



Rys. 2. Wartości i trend temperatur powietrza w kwietniu

Fig. 2. The values and trend of air temperature in April

występowały wszystkie stacje, dla których były wykonywane pomiary w danym roku, z wyjątkiem Krakowa. Kraków traktowano jako zbiór testujący. Następnie porównano dane pomiarowe z wartościami obliczonymi w sieci, obliczając współczynnik korelacji oraz średni błąd kwadratowy. Różnice wartości doświadczalnych i obliczonych były oczywiście mniejsze, jeżeli dana stacja znajdowała się w zbiorze uczącym, niż wtedy, gdy należała do zbioru testującego (Kraków). Jeżeli do dyspozycji były dane z nie mniej niż 17 stacji, to wówczas przyjmowano w obliczeniach liczbę centrów równą 12. W zbiorze danych istnieją jednakże okresy, dla których liczba aktywnych stacji meteorologicznych była znacznie mniejsza. W takich przypadkach dopasowywano liczbę centrów do liczby stacji tak aby proporcja 12:17 była



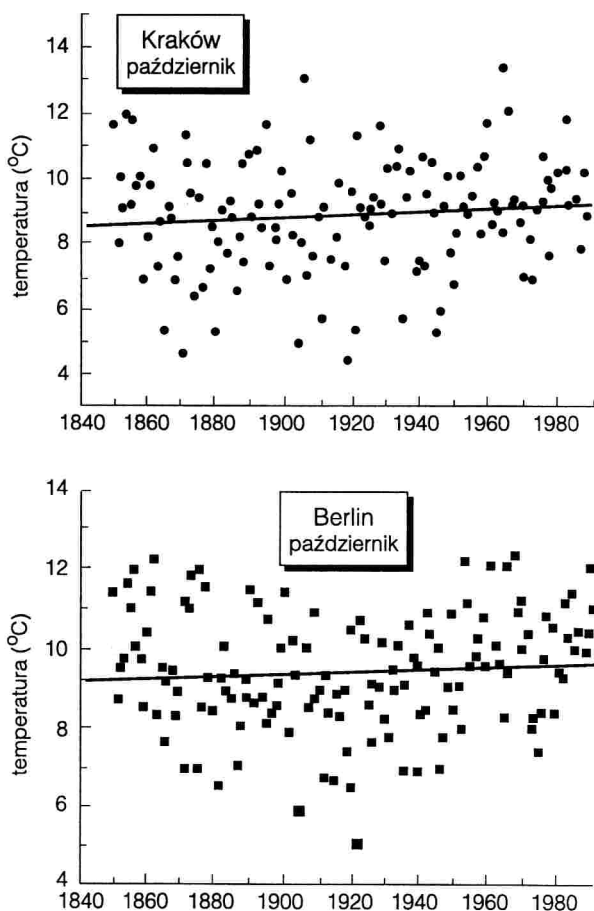
Rys. 3. Wartości i trend temperatur powietrza w lipcu

Fig. 3. The values and trend of air temperature in July

zachowana. Liczba stacji oraz liczba centrów wpływały na dokładność obliczeń. Najlepsze wyniki uzyskiwano dla 17 stacji i 12 centrów. Współczynniki korelacji wynosiły wówczas od 0,99 do 0,97, a średni błąd kwadratowy od 0,08 do 0,28.

Ogólnie, opis pola temperatury za pomocą sieci RBF dobrze odzwierciedla stan rzeczywisty określony pomiarami. Zgodność tę potwierdza analiza statystyczna wykonana testem R, pozwalająca ocenić, iż zgodność ta jest znamienna statystycznie na poziomie ufności 95%.

Wśród uwzględnionych w opracowaniu stacji pomiarowych największymi różnicami charakteryzuje się Kraków. Przez cały analizowany okres wartości obliczone były niższe od wartości zmierzonych. Porównanie różnic wartości

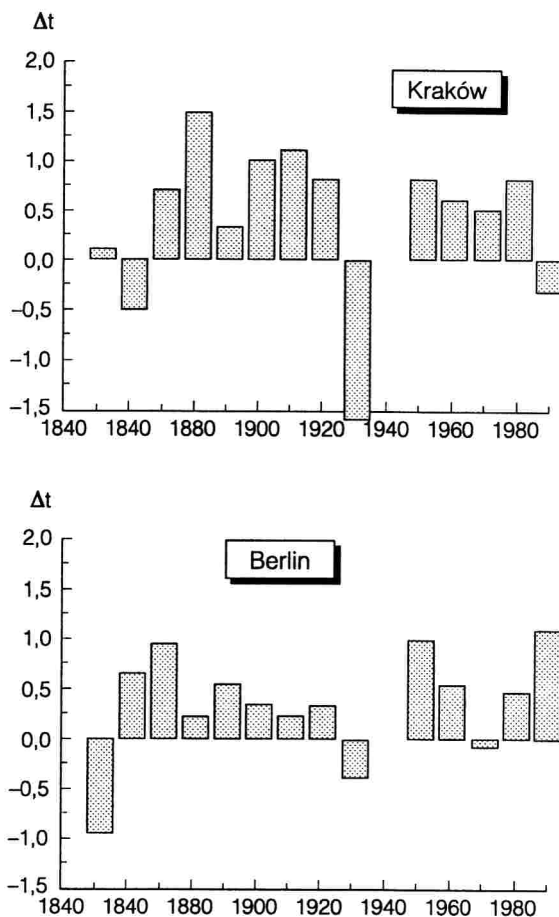


Rys. 4. Wartości i trend temperatur powietrza w październiku

Fig. 4. The values and trend of air temperature in October

obliczonych i mierzonych dla Krakowa czy przykładowo dla Berlina przedstawiono na rys 5.

Znaczne różnice, które można zaobserwować, występują dla okresów z niekompletnymi danymi. Jeżeli w obliczeniach pominąć różnice, które są wynikiem słabej aproksymacji wynikającej z braku danych, to otrzymamy dla Krakowa np. w kwietniu średnią wartość różnicy temperatur mierzoną i obliczoną równą $1,163 \pm 0,138$. Analogiczna wartość dla Berlina w miesiącu kwietniu wyniosła $0,305 \pm 0,079$. Podobne wartości jak dla Berlina można uzyskać dla innych miast, które były przedmiotem rozważań. Oznacza to, że średnie temperatury w Krakowie są wyższe niż wynika to z szerokoprzesztrznego rozkładu temperatur w Europie. Nadwyżka ta istnieje od początku



Rys. 5. Różnice między temperaturami obliczonymi i zmierzonymi dla kwietnia

Fig. 5. Differences between calculated and measured temperature for April

analizowanego okresu. Trwałość istnienia tej nadwyżki może oznaczać, że na poziom średnich temperatur powietrza w Krakowie istotny wpływ wywierają czynniki regionalne lub lokalne związane z położeniem geograficznym (lub nawet z lokalizacją termometru).

Więc może to sugerować, że stwierdzona różnica temperatur powietrza pomiędzy Krakowem a okolicznymi miejscowościami w niewielkiej tylko mierze jest uwarunkowana tworzeniem się mwc nad rozrastającym się Krakowem. Przyczyny obserwowanych trendów wzrostu temperatury powietrza (których statystyczna znamienność nie została potwierdzona) w Krakowie mogą więc mieć charakter szerokoprzestrzenny, co potwierdzają trendy (równie mało znamienne) wzrostu temperatury powietrza w innych miastach Europy. Wśród przyczyn tych największe – jak się wydaje – znaczenie ma zapewne przyrost

temperatury związany z zakończeniem w połowie XIX w. małego glacjału, zauważalny szczególnie wyraźnie w latach 1850–1900. Wzrostowy trend temperatur po roku 1950 może być również częściowo uwarunkowany globalnym ociepleniem. Jednakże efekt ten jest tuszowany zmianami epok cyrkulacyjnych, czego dowodem jest istnienie kilkunasto-, kilkudziesięcioletnich okresów, w których trend zmian wartości temperatury powietrza był ujemny (rys. 1, 2, 3, 4).

O małej roli mwc w Krakowie w kształtowaniu ogólnie dodatnich trendów zmian temperatury powietrza świadczy również istnienie – i to w całym badanym 40-leciu – przełomów, po których następował okresowy, względnie duży wzrost temperatur powietrza, mimo że nie mógł on być przez większość tego okresu spowodowany dużą antropogeniczną emisją ciepła (Trepieńska, Kowanetz 1997).

Dodatkowym potwierdzeniem tej małej roli mwc w Krakowie w kształtowaniu wieloletnich zmian temperatury powietrza jest fakt, iż mwc – jak wykazują to liczne badania (Kłysik, Fortuniak 1997) – występują częściej i wyraziściej w miesiącach letnich. Tymczasem wieloletnie trendy zmian temperatury powietrza dla miesięcy od maja do września są zaznaczone najslabiej, przy czym są to częściej trendy spadkowe niż wzrostowe (Trepieńska 1988; Trepieńska, Kowanetz 1997).

PODSUMOWANIE

1. W pracy dokonano porównania wartości średnich miesięcznych temperatur dla 19 miast europejskich dla stycznia, kwietnia, lipca i października w latach 1851–1990 uzyskanych z pomiarów oraz przewidywanych metodą sztucznych sieci neuronowych SSN typu RBF.

2. Na podstawie danych doświadczalnych oceniono trendy zmian temperatury dla Krakowa i Berlina (dużych i rozwijających się aglomeracji miejskich) dla tego samego okresu. Biorąc pod uwagę wartości testów R (współczynnik korelacji) i F (Fishera) występujące trendy zmian temperatury w okresie 1851–1990 są niewielkie i nie są istotne z punktu widzenia statystyki.

3. Wartości temperatur mierzonych dla Krakowa w stosunku do przewidywanych metodą SSN na podstawie innych stacji europejskich są znacznie wyższe. Taka sama tendencja nie jest obserwowana dla innych miast w Europie, które były brane pod uwagę w obliczeniach. Można więc wnioskować na tej podstawie, iż wyższe temperatury dla Krakowa są wynikiem położenia geograficznego miasta, gdyż taka sama tendencja występowała w całym badanym okresie, tj. 1851–1990.

4. Incydenty z miejską wyspą ciepła w Krakowie, niekiedy wyraźnie zaznaczoną, nie przekładają się w sposób zauważalny na wzrost średnich wieloletnich wartości trendów zmian temperatur powietrza.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego nr 234/T09/97/13 pt. „Ocena stanu zanieczyszczenia powietrza przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych” sponsorowanego przez KBN w roku 1997.

LITERATURA

- Kamiński W., Skrzypski J., 1997, *Możliwości zastosowania sztucznych sieci neuronowych w klimatologii*, [w:] *Materiały Konferencji „Klimat i Bioklimat Miast”*, Wyd. UŁ, Łódź
- Kłysik K., Fortuniak K., 1997, *Dobowy i roczny cykl występowania miejskiej wyspy ciepła w Łodzi*, [w:] *Materiały Konferencji „Klimat i bioklimat miast”*, Wyd. UŁ, Łódź
- Koźuchowski K., 1989, *Makrotypy ogólnej cyrkulacji atmosfery a temperatura w Polsce*, Przegl. Geofiz., R. 34, z. 4
- Koźuchowski K., Marciniak K., 1986, *Fluktuacje kontynentalizmu klimatu Polski na tle warunków cyrkulacyjnych i solarnych*, Przegl. Geofiz., R. 31, z. 2
- Lewińska J., Zgud K., Baścik J., Witczak W., 1990, *Klimat obszarów zurbanizowanych*, IGPIK, Warszawa
- Obrębska-Starkłowa B., 1997, *Współczesne poglądy na zmiany klimatyczne w Europie w okresie schyłku małego glacjału*, [w:] *Wahania klimatu w Krakowie*, red. J. Trepieńska, Wyd. IG UJ, Kraków
- Osuchowska-Klein B., 1987, *Zmienność cyrkulacji atmosferycznej w Europie w bieżącym stuleciu*, Przegl. Geofiz., R. 32, z. 1
- Sadowski M., 1996, *Globalne zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko*, [w:] A. Jankowski, *Metody badań wpływu czynników antropogenicznych na warunki klimatyczne: hydrologiczne w obszarach zurbanizowanych*, Katowice
- Trepieńska J., 1988, *Wieloletni przebieg ciśnienia i temperatury powietrza w Krakowie na tle ich zmienności w Europie*, Rozpr. Habil. UJ, nr 140
- Trepieńska J., Kowanetz L., 1997, *Wieloletni przebieg średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza w Krakowie (1792–1995)*, [w:] *Wahania klimatu w Krakowie*, red. J. Trepieńska, Wyd. IG UJ, Kraków

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska
Politechniki Łódzkiej

SUMMARY

The role of urban heat island in Cracow in the formation of thermal conditions from the point of view of climatology was analyzed. Calculations made with the use of the artificial neural networks proved that the urban heat island (sometimes very distinctly marked) had no remarkable effect on the mean air temperature increase in the period of high anthropogenic heat emissions.