

## Zmienność warunków termicznych i opadowych szczytowych partii Łysogór na tle wskaźników cyrkulacyjnych

Air temperature and precipitation variability in the higher parts  
of the Łysogóry Range and their relations to the circulation indices

Jerzy Leszek Olszewski<sup>1</sup>, Grzegorz Żarnowiecki<sup>1</sup>,  
Krzysztof Jarzyna<sup>1</sup>, Arkadiusz Adamczyk<sup>2</sup>

**Zarys treści:** Przeanalizowano zmienność temperatury powietrza i wysokości opadów na stacji meteorologicznej Święty Krzyż w Górach Świętokrzyskich w latach 1955-2005. Stwierdzono rosnący trend średniej rocznej temperatury powietrza i malejący trend wysokości opadów rocznych. Analizowane tendencje wykazują zróżnicowanie w przebiegu rocznym. Można je częściowo wytłumaczyć zmiennością warunków cyrkulacyjnych. Warunki termiczne i w mniejszym stopniu warunki opadowe w Górach Świętokrzyskich są związane ze zmiennością wskaźników cyrkulacyjnych.

**Słowa kluczowe:** cyrkulacja atmosferyczna, stosunki termiczne i opadowe, Łysogóry

**Key words:** atmospheric circulation, thermal and precipitation conditions, Łysogóry Range

### Wprowadzenie

Koniec XX w. był najcieplejszym okresem na ziemiach polskich od początku instrumentalnych pomiarów meteorologicznych (Kožuchowski, Żmudzka 2001). Wzrostowej tendencji temperatury powietrza nie towarzyszy podobna tendencja zmian wysokości opadów (Żmudzka 2002). Wśród przyczyn zmienności temperatury powietrza i wysokości opadów w ostatnich 10-leciach wskazywane są m.in. czynniki cyrkulacyjne, a zwłaszcza nasilenie cyrkulacji strefowej (m.in. Degirmendžić i in. 2002, Kożuchow-

<sup>1</sup> Instytut Geografii, Akademia Świętokrzyska, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce,  
e-mail: jerzy.olszewski@pu.kielce.pl, grzegorz.zarnowiecki@pu.kielce.pl, jarzynak@pu.kielce.pl

<sup>2</sup> Świętokrzyski Park Narodowy, ul. Suchedniowska 4, 26-010 Bodzentyn, e-mail: areck@vp.pl

ski 2003). Zmienność cyrkulacji atmosferycznej nad Europą jest sterowana w znacznym stopniu przez zmiany rozkładu ciśnienia nad północnym Atlantykiem, nazwane Oscylacją Północnoatlantycką – NAO (Wibig 2000). Szereg badań wykazał wpływ NAO na temperaturę powietrza i wysokość opadów w Polsce, najsilniejszy w chłodnej porze roku (m.in. Marsz, Styszyńska 2001; Styszyńska 2001, Przybylak i in. 2003).

Szczególnie cenne w poznaniu zmian klimatu Polski są serie danych meteorologicznych pochodzące z terenów górskich, poddanych mniejszej antropopresji. Rosnący trend temperatury powietrza w Karkonoszach oraz w Tatrach uwidocznił się dopiero pod koniec XX w., później niż na obszarach nizinnych i w miejscowościach leżących u podnóża gór (Morawska-Horawska 1994, Obrębska-Starkel i in. 1995, Głowicki 2003). Opady atmosferyczne w terenach górskich naszego kraju uległy w ostatnim 50-leciu zmniejszeniu (Cebulak 1997, Obrębska-Starkel i in. 1995).

Serie danych z Tatr i Karkonoszy charakteryzują warunki klimatyczne gór wysokich i gór średnich. Wyniki pomiarów ze stacji meteorologicznej Święty Krzyż, reprezentującej partię grzbietową Łysogór, pozwalają uzyskać bliższy obraz klimatu gór niskich, jakimi są Góry Świętokrzyskie. Dotychczasowe badania (m.in. Olszewski i in. 2000) potwierdziły indywidualizm klimatu Gór Świętokrzyskich, surowszego i bardziej wilgotnego w porównaniu z otoczeniem.

Celem niniejszego opracowania jest analiza tendencji zmian warunków termicznych i opadowych w Łysogórach oraz próba ich interpretacji oparta na wybranych wskaźnikach cyrkulacyjnych.

## **Materiały i metody**

Podstawą analiz są zbiory miesięcznych i rocznych wartości średniej temperatury powietrza oraz sum opadów atmosferycznych pochodzące ze stacji meteorologicznej Święty Krzyż (50°51'N, 21°03'E, 575 m n.p.m.) z okresu 1955-2005, tj. od początku funkcjonowania stacji. W analizie zastosowano trend prostoliniowy. Istotność statystyczną współczynników kierunkowych trendu oceniono testem t-Studenta.

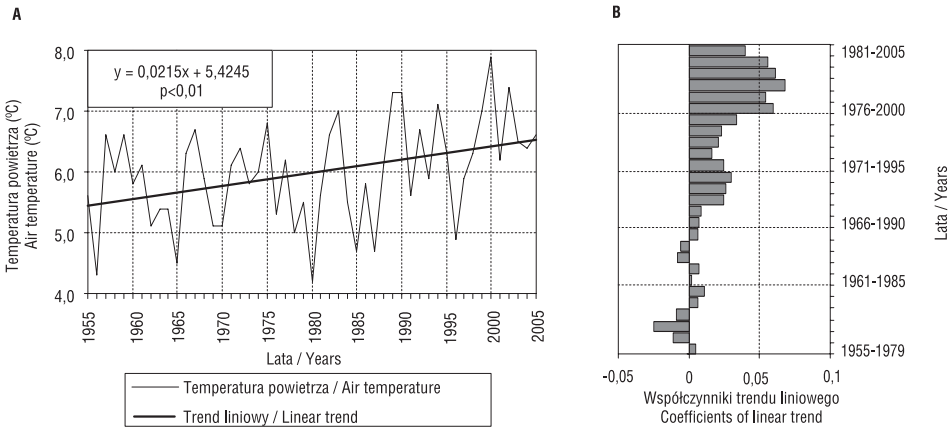
W celu określenia wpływu czynników cyrkulacyjnych na warunki termiczne i opadowe posłużono się czterema wskaźnikami: NAO, cyrkulacji zachodniej (W), cyrkulacji południowej (S) oraz aktywności cyklonicznej (C). W analizach wykorzystano wskaźnik NAO w wersji Hurrella, zdefiniowany jako różnica między znormalizowanymi wartościami ciśnienia w Ponta Delgada (Azory) i Stykkisholmuir (Islandia) (<http://www.cgd.ucar.edu...>). Miesięczne i roczne wartości wskaźników W, S i C obliczono zgodnie z metodą zastosowaną przez T. Niedźwiedzia (2000), wykorzystując kalendarz sytuacji synoptycznych w dorzeczu górnej Wisły z lat 1955-2005 (Niedźwiedź 2005).

Kierunek i siłę związków korelacyjnych między miesięcznymi, sezonowymi i rocznymi wartościami temperatury powietrza i wysokości opadów a wskaźnikami cyrkulacyjnymi określono za pomocą współczynnika korelacji Pearsona. Istotność statystyczną stwierdzonych związków oceniono testem t-Studenta.

## Wyniki

Średnia roczna temperatura powietrza na stacji meteorologicznej Święty Krzyż zmieniała się w latach 1955-2005 w zakresie od 4,2°C w 1980 r. do 7,9°C w 2000 r. W badanym okresie rosła ona przeciętnie w tempie 0,2°C/10 lat (ryc. 1a). W analizowanym 50-leciu dodatni trend ( $p < 0,05$ ) średnich rocznych wartości temperatury utrwał się dopiero po 1965 r. (ryc. 1b).

Obserwowane na Świętym Krzyżu tendencje termiczne wykazują dość duże zróżnicowanie sezonowe. W przebiegu rocznym najszybciej, bo średnio o 0,4°C/10 lat, wzrastała w okresie 1955-2005 temperatura powietrza w styczniu, lutym, marcu oraz w maju i sierpniu. Istotny statystycznie trend rosnący średnich miesięcznych wartości temperatury dotyczył jednak tylko maja ( $p < 0,05$ ) i sierpnia ( $p < 0,01$ ) (tab. 1).



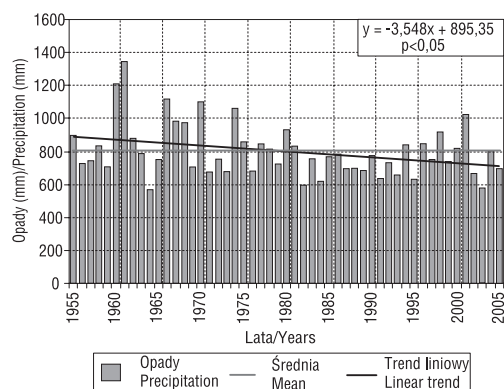
Ryc. 1. Przebieg średniej rocznej temperatury powietrza na stacji meteorologicznej Święty Krzyż w okresie 1955-2005 (A). Współczynniki kierunkowe 25-letniego trendu liniowego temperatury powietrza (B)

Fig. 1. Course of annual air temperature at the meteorological station Święty Krzyż in the years 1955-2005 (A). Coefficients of 25-year linear trend of air temperature (B)

Tab. 1. Współczynniki kierunkowe trendu liniowego temperatury powietrza (t) w °C/10 lat i wysokości opadu (p) w mm/10 lat na stacji meteorologicznej Święty Krzyż (wytłuszczono współczynniki istotne statystycznie na poziomie 0,05)

Table 1. Coefficients of linear trend of air temperature (t – in °C/10 years) and precipitation (p – in mm/10 years) at the meteorological station Święty Krzyż (significant coefficients for the 0.05 level are in bold)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok / Year
t	0,4	0,4	0,4	0,3	<b>0,4</b>	0,0	0,2	<b>0,4</b>	-0,1	-0,1	0,0	0,0	<b>0,2</b>
p	0,8	0,0	1,5	0,4	-6,1	-7,5	-8,6	-2,0	0,8	-5,6	<b>-6,0</b>	-3,4	<b>-35,5</b>



Ryc. 2. Przebieg rocznych sum opadów na stacji meteorologicznej Święty Krzyż w okresie 1955-2005  
 Fig. 2. Course of annual precipitation totals at the meteorological station Święty Krzyż in the years 1955-2005

W okresie 1955-2005 roczne sumy opadów w Łysogórach ulegały zmniejszeniu w tempie średnio 35,5 mm/10 lat ( $p < 0,05$ ). W rozpatrywanym wieloleciu wyróżnić można dwa okresy wilgotne – 1960-1961 i 1966-1970 oraz suchszy okres 1982-1995. Warto jednak zauważyć, że wilgotne lata 60. XX w. charakteryzowały się dużą zmiennością rocznych sum opadów z roku na rok. Właśnie wówczas zanotowano najwyższe – 1344,7 mm w 1961 r. oraz najniższe – 69,7 mm w 1964 r. opady roczne w wieloleciu (ryc. 2).

Malejąca tendencja sum opadów w paśmie Łysogór uwidoczniła się najsilniej w miesiącach letnich – maksymalnie 8,6 mm/10 lat w lipcu. Istotnie statystycznie ( $p < 0,01$ ) zmniejszenie się opadów miesięcznych zachodziło

Tab. 2. Współczynniki korelacji między temperaturą powietrza (t) i wysokością opadów (p) na stacji meteorologicznej Święty Krzyż a wybranymi wskaźnikami cyrkulacyjnymi (wyfłuszczone współczynniki istotne statystycznie na poziomie 0,05)

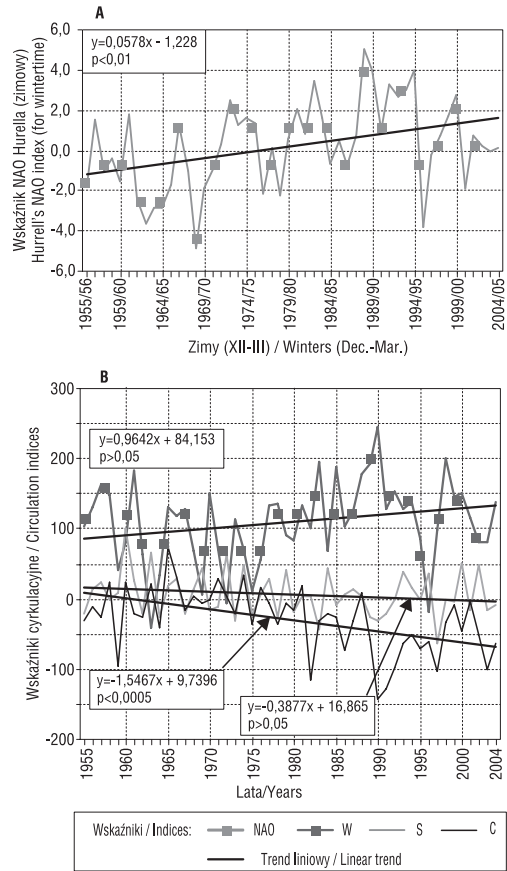
Table 2. Correlation coefficients between the air temperature (t) and precipitation (p) at the meteorological station Święty Krzyż and chosen circulation indices (significant coefficients for the 0.05 level are in bold)

Miesiące Months	Wskaźnik NAO NAO index		Wskaźnik W Index W		Wskaźnik S Index S		Wskaźnik C Index C	
	t	p	t	p	t	p	t	p
I	<b>0,73</b>	0,08	<b>0,73</b>	0,19	0,01	<b>-0,31</b>	-0,05	<b>0,56</b>
II	<b>0,54</b>	0,06	<b>0,71</b>	<b>0,34</b>	0,25	-0,23	0,14	<b>0,52</b>
III	<b>0,47</b>	-0,19	<b>0,49</b>	<b>0,28</b>	0,04	<b>-0,43</b>	-0,12	<b>0,27</b>
IV	-0,11	0,11	-0,22	0,21	<b>0,66</b>	-0,06	0,20	<b>0,41</b>
V	0,03	0,02	-0,11	0,26	<b>0,60</b>	-0,14	-0,04	<b>0,35</b>
VI	0,12	0,27	<b>-0,42</b>	0,03	<b>0,40</b>	-0,06	<b>-0,28</b>	0,21
VII	0,08	0,11	<b>-0,75</b>	0,17	0,02	0,07	-0,24	<b>0,39</b>
VIII	<b>0,52</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,31</b>	0,08	<b>0,33</b>	-0,17	-0,03	0,24
IX	<b>0,45</b>	-0,07	-0,24	-0,15	<b>0,58</b>	-0,08	-0,26	<b>0,43</b>
X	<b>0,37</b>	<b>-0,30</b>	0,06	0,16	<b>0,55</b>	-0,17	<b>-0,34</b>	<b>0,69</b>
XI	0,20	<b>-0,30</b>	0,21	0,14	<b>0,34</b>	-0,23	<b>0,36</b>	<b>0,43</b>
XII	<b>0,45</b>	0,22	<b>0,70</b>	0,27	-0,02	<b>-0,33</b>	<b>0,29</b>	<b>0,45</b>
Rok Year	<b>0,61</b>	-0,16	0,28	0,12	-0,02	0,20	<b>-0,37</b>	<b>0,44</b>

jednak tylko w listopadzie, w którym trend wynosi 6 mm/10 lat (tab. 1).

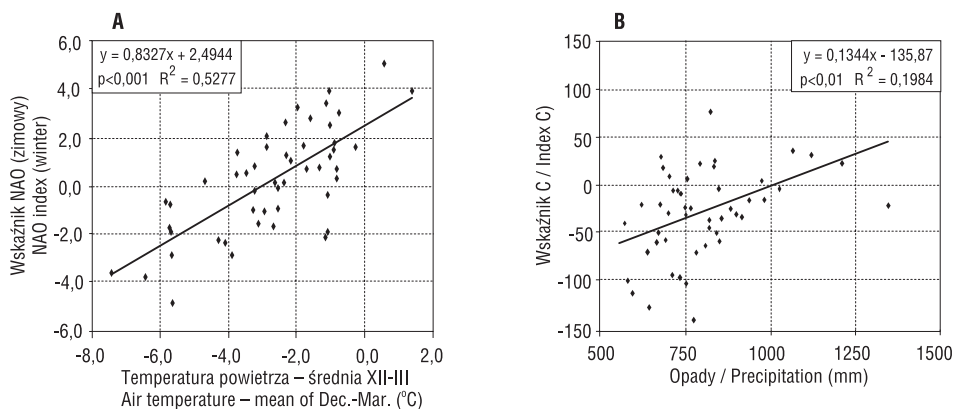
Wieloletnia zmienność temperatury powietrza w Łysogórach w dużym stopniu daje się wytłumaczyć zmiennością czynników cyrkulacyjnych. Wzrostowej tendencji średniej rocznej temperatury na Świętym Krzyżu towarzyszy istotny statystycznie (na poziomie 0,05) rosnący trend wskaźnika NAO (ryc. 3a) oraz wyraźny – chociaż statystycznie nieistotny – rosnący trend wskaźnika W (ryc. 3b). Stwierdzono również silny związek korelacyjny między średnią roczną temperaturą a wskaźnikiem NAO ( $r=0,61$ ). Wysokim wartościom miesięcznym wskaźnika NAO towarzyszą wysokie wartości temperatury prawie we wszystkich miesiącach. Najsilniejszy związek między warunkami termicznymi a wskaźnikiem NAO uwidacznia się w styczniu, kiedy  $r=0,73$  (tab. 2, ryc. 4a). Podobnie silny związek występuje zimą między temperaturą powietrza a nasileniem zachodniej cyrkulacji strefowej (tab. 2). Silny ujemny związek korelacyjny między temperaturą powietrza a wskaźnikiem W stwierdzono w lipcu ( $r=-0,75$ ). Wpływ cyrkulacji zachodniej na zmienność temperatury w paśmie łysogórskim zmniejsza się wiosną i jesienią, kiedy wzrasta znaczenie adwekcji mas powietrznych z sektora południowego (tab. 2). Najsłabszy związek między temperaturą a wartościami wskaźnika S stwierdzono w kwietniu ( $r=0,66$ ).

Zmienność sum opadów na Świętym Krzyżu w niewielkim stopniu daje się powiązać ze zmiennością wskaźników cyrkulacyjnych (tab. 2). Umiarkowanie silny związek występuje jedynie między wysokością opadu a wskaźnikiem aktywności cyklonicznej ( $r=0,44$ ) w przypadku wartości rocznych (ryc. 4b). W przebiegu rocznym najsilniejszy jest on w chłodnej części roku. Najsłabsza korelacja między tymi zmiennymi zachodzi w październiku ( $r=0,69$ ). Należy też zauważyć, że malejącym w wieloletnim rocznym sumom opadów towarzyszy istotny statystycznie na poziomie 0,05 ujemny trend wskaźnika C (ryc. 3b).



Ryc. 3. Wieloletnia zmienność wskaźników cyrkulacyjnych: zimowego wskaźnika NAO (A), rocznych wartości wskaźników W, S i C (B)

Fig. 3. Long-term variability of circulation indices: winter NAO index (A) and annual values of W, S and C indices (B)



Ryc. 4. Korelacja między temperaturą powietrza na stacji meteorologicznej Święty Krzyż a zimowym wskaźnikiem NAO (A) oraz roczną sumą opadów a wskaźnikiem aktywności cyklonicznej C (B)

Fig. 4. Correlation between the air temperature at the meteorological station Święty Krzyż and the winter NAO index (A), annual precipitation totals and cyclonic activity index C (B)

## Dyskusja wyników i wnioski

Zaobserwowany na Świętym Krzyżu w Łysogórach w okresie 1955-2005 rosnący trend średniej rocznej temperatury powietrza wynoszący  $1,1^{\circ}\text{C}$  w całym wieloleciu (ryc. 1a), jest porównywalny z wartością obliczoną na podstawie średniej obszarowej temperatury w Polsce, wynoszącą  $0,9^{\circ}\text{C}$  (Fortuniak i in. 2001). Różnice pojawiają się w odniesieniu do tendencji zmian warunków termicznych w poszczególnych sezonach.

Malejący trend rocznej sumy opadów – przeciętnie 181 mm w całym wieloleciu – jest zgodny z tendencją zmian w górach w Polsce (Cebulak 1997, Obrębska-Starkel i in. 1995). Analiza zmian średniej obszarowej rocznej sumy opadów w Polsce, obliczonej na podstawie danych ze stacji nizinnych i wyżynnych, nie wykazała istotnego statystycznie trendu (Żmudzka 2002). Zróżnicowanie tendencji zmian sum opadów w Polsce pozostaje w zgodzie z wynikami badań C.D. Schönwiese i J. Rappa (1997). Wskazują oni na wzrost wysokości opadów w północnej Europie, spadek w obszarze śródziemnomorskim oraz brak wyraźnych tendencji zmian w środkowej Europie.

Dodatni trend średnich rocznych wartości temperatury powietrza i ujemny trend sum opadów w Łysogórach koïncydowały z obserwowaną w wieloleciu 1955-2005 dominacją dodatniej fazy NAO oraz nasileniem cyrkulacji zachodniej i zmniejszeniem się aktywności cyklonicznej.

Stwierdzono umiarkowaną do silnej zależność temperatury powietrza na Świętym Krzyżu od wartości wskaźnika NAO oraz nasilenia cyrkulacji strefowej i południowej – zmienną w przebiegu rocznym. Wysokość opadów na Świętym Krzyżu wykazywała słabszą zależność od badanych wskaźników cyrkulacyjnych. Uzyskane wyniki znajdują potwierdzenie w badaniach innych autorów (m.in. Styszyńska 2001, Degirmendźić i in. 2002).

## Literatura

- Cebulak E., 1997, *Variability of precipitation in the selected regions of the Carpathians in the years 1951-1995*, Geogr. Polonica, 70, 64-76.
- Degirmendzić J., Kożuchowski K., Żmudzka E., 2002, *Uwarunkowania cyrkulacyjne zmienności temperatury powietrza w Polsce w okresie 1951-2000*, Prz. Geofiz., 47, 1-2, 93-98.
- Fortuniak K., Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, *Trendy i okresowość zmian temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku*, Prz. Geofiz., 46, 4, 283-303.
- Głowicki B., 2003, *Symptoms of Contemporary Warming in the 100-Year Series of Temperature Measurements on the Śnieżka Mountain*, Acta Univ. Wratislaviensis, 2542, Studia Geogr., 75, 142-150.  
<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.data.html#naostatseas>, 25.06.2006.
- Kożuchowski K., 2003, *Some Aspects of the Contemporary Climatic Changes in Poland*, Acta Univ. Wratislaviensis, 2542, Studia Geogr., 75, 66-77.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, *Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku*, Prz. Geofiz., 46, 1-2, 81-90.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2001, *Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską*, Wyd. WSM, Gdynia.
- Morawska-Horawska M., 1994, *Trendy temperatury powietrza w Tatrach, w Niżnich Tatrach i w Karconoszach w okresie 1948-1990*, Rocznik Nauk.-Dyd. WSP w Krakowie, 170, Prace Geogr., 15, 159-165.
- Niedźwiedz T., 2000, *Variability of the Atmospheric Circulation above Central Europe in the Light of the Selected Indices*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 107, 379-389.
- Niedźwiedz T., 2005, *Kalendarz sytuacji synoptycznych dla dorzecza górnej Wisły (1873-2005)*, Plik komputerowy dostępny w Katedrze Klimatologii, Wydz. Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec.
- Obrębska-Starkel B., Bednarz Z., Niedźwiedz T., Trepińska J., 1995, *On the Trends of the Climate Changes in the Higher Parts of the Carpathian Mountains*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 98, 123-151.
- Olszewski J.L., Szałach G., Żarnowiecki G., 2000, *Klimat*, [w:] *Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego*, S. Cieśliński, A. Kowalkowski (red.), Świętokrzyski Park Narodowy, Bodzentyn-Kraków.
- Przybylak R., Wójcik G., Marciniak K., 2003, *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej i Arktycznej na warunki termiczne chłodnej pory roku w Polsce w XVI-XX wiekach*, Prz. Geofiz., 48, 1-2, 61-74.
- Schönwiese C.D., Rapp J., 1997, *Climate Trend Atlas of Europe Based on Observations 1891-1990*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Styszyńska A., 2001, *Oscylacja Północnego Atlantyku a opady na obszarze Polski*, Prace i Studia Geogr. WGiSR UW, 29, 233-241.
- Wibig J., 2000, *Oscylacja Północnoatlantycka i jej wpływ na kształtowanie pogody i klimatu*, Prz. Geofiz., 45, 2, 121-137.
- Żmudzka E., 2002, *O zmienności opadów atmosferycznych na obszarze Polski Nizinnej w drugiej połowie XX wieku*, Wiad. IMGW, 25, 4, 23-38.

## Summary

The aim of this study to presented the air temperature and the precipitation variability in the Świętokrzyskie Mts. during the second half of the XX century. Records from the Święty Krzyż meteorological station were analysed. In addition an attempt was made to explain that variability by taking into consideration circulation factors. Changes in the NAO, westerly zonal, southerly meridional and cyclonic activity indices were tested (the last three indices following Niedźwiedź 2000).

A trend to an increase in mean annual air temperature (0.2°C/decade) and a trend towards a reduction in total annual precipitation (35 mm/decade) were noted (Fig. 1, 2). The air temperature variability in the Świętokrzyskie Mts. proved to be dependent on the NAO index (in the winter), the westerly zonal index (in the winter and the summer) and the southerly meridional index (in the spring and the autumn). Precipitation seems to depend only on cyclonic activity (Table 2).