

RAJMUND PRZYBYŁAK

*Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Instytut Geografii, Zakład Klimatologii
Gagarina 9, 87-100 Toruń
E-mail: rp11@umk.pl*

ZMIANY KLIMATU POLSKI I EUROPY W OSTATNICH STULECIACH

WSTĘP

Zagadnienie zmian i zmienności klimatu oraz ich skutków dla środowiska naturalnego oraz społecznego stało się w ostatnich kilkudziesięciu latach dominującym obszarem zainteresowań i badań wielu naukowców. Bezpośrednią tego przyczyną jest obserwowane od drugiej połowy lat 1970. globalne ocieplenie się klimatu (tzw. druga faza współczesnego ocieplenia; pierwsza była w latach 1920–1940). Jak wykazują badania paleoklimatyczne, w zasadzie zmiany i zmienność klimatu we wszystkich skalach czasowych i przestrzennych są powszechnie występującą normą. Można zatem powiedzieć, że są immanentną cechą klimatu. Dlaczego więc dopiero w ostatnich 20–30 latach wystąpiła taka eksplozja badań klimatycznych? Otóż przyczyną tego jest fakt, iż jak wykazują badania (IPCC 1990, 1996, 2001, 2007), tempo zmian jest dużo większe niż w minionych kilku lub kilkunastu stuleciach. Dodatkowo, modele klimatyczne przewidują, iż jeżeli emisja gazów cieplarnianych będzie wciąż powiększała się, to wspomniane tempo zmian jeszcze się zintensyfikuje, a temperatura powietrza na kuli ziemskiej w momencie podwojenia się zawartości dwutlenku węgla (druga połowa XXI w.) wzrośnie najprawdopodobniej o ok. 3°C (IPCC 2007).

Badania paleoklimatyczne prowadzone są dla różnych epok i okresów geologicznych, jednak dla oceny przyczyn współczesnych zmian klimatu oraz formułowania scenariuszy dla przyszłych klimatów, najistotniejsze jest szczegółowe poznanie klimatu dla ostatniego tysiąclecia. Pozwala ono bowiem

wyznaczyć, z wymaganą dokładnością, tzw. naturalną zmienność klimatu. Do tego celu potrzebna jest informacja klimatyczna zebrana dla tzw. okresu przedprzemysłowego (tj. najczęściej sprzed 1850 r.), w którym wpływ czynnika antropogenicznego na klimat był na tyle mały, iż można go pominąć. Dokładna znajomość klimatu w ostatnich stuleciach jest też niezbędna do walidacji modeli klimatycznych, które wykorzystuje się najczęściej do obliczania scenariuszy przyszłych zmian klimatu. Jeśli bowiem model będzie dobrze rekonstruował klimat przeszłych okresów, to jest duże prawdopodobieństwo, iż będzie on także w miarę prawidłowo obliczał przyszły klimat.

Skąd czerpiemy wiedzę o przeszłych klimatach, skoro obserwacje instrumentalne poszczególnych elementów meteorologicznych wystarczająco pokrywają kulę ziemską tylko dla ostatnich 100–200 lat. Otóż wykorzystuje się tutaj zależność różnych zjawisk (systemów) naturalnych (np. przyrost roczny pierścieni drzew, stalagmitów i stalaktytów czy raf koralowych) od klimatu oraz założenie ich stacjonarności w dłuższym okresie (zasada aktualizmu geologicznego). Te systemy naturalne (tzw. dane pośrednie) zawierają w sobie tzw. sygnał klimatyczny, mniej lub bardziej wyraźny. Celem paleoklimatologów jest umiejętne jego wydobycie, co najczęściej dokonuje się poprzez procesy kalibracji (określenie związków statystycznych między określonymi systemami klimatycznymi a współczesnymi danymi meteorologicznymi) i weryfikacji (sprawdzenie czy związki

ustalone w procesie kalibracji pozwalają w wystarczający sposób zrekonstruować dane klimatyczne dla innego okresu obserwacji instrumentalnych niż ten wzięty do kalibracji). Jeśli procesy kalibracji i weryfikacji wykazały istnienie trwałych i istotnych statystycznie związków między danym systemem naturalnym a określonym elementem meteorologicznym (np. temperaturą powietrza), wtedy można je zastosować także dla okresu, dla którego nie ma obserwacji instrumentalnych, a jest informacja o systemie naturalnym. Więcej szczegółów odnośnie stosowanych metod paleoklimatycznych można znaleźć w książce BRADLEYA (1999), przeglądowej publikacji BRÁZDILA i współaut. (2005), czy też w kilku publikacjach powstałych w ośrodku toruńskim (MAJOROWICZ i współaut. 2001, 2004; PRZYBYŁAK i współaut. 2004, 2005).

Europa (w tym Polska), pod względem możliwości rekonstrukcji klimatu dla ostatniego tysiąclecia, jest w uprzywilejowanej sytuacji w porównaniu do większości innych obszarów, ze względu na fakt istnienia źródeł pisanych dla całości tego okresu, które w znaczący sposób uzupełniają informację klimatyczną, możliwą do uzyskania z tzw. „archiwów naturalnych”, wcześniej wspomnianych. Z tego powodu dysponujemy obecnie wieloma rekonstrukcjami klimatycznymi różnych elementów klimatycznych (głównie temperatury powietrza, opadów atmosferycznych i ciśnienia atmosferycznego) oraz elementów cyrkulacji atmosferycznej dla Europy (LUTERBACHER i współaut. 2002, 2004; BRÁZDIL i współaut. 2005; PAULING i współaut. 2006; CASTY i współaut. 2007; IPCC 2007). Wyraźny

postęp widoczny jest też w przypadku rekonstrukcji klimatu dla półkuli północnej i całej kuli ziemskiej (MANN i współaut. 1999, JONES i współaut. 2001, MOBERG i współaut. 2005, IPCC 2007).

Aktualna wiedza na temat zmian klimatu w Polsce w ostatnim tysiącleciu jest zróżnicowana. Ze zrozumiałych względów jest ona najlepsza dla okresu obserwacji instrumentalnych. W ostatniej dekadzie XX w. włożono wiele wysiłku w celu uzyskania jednorodnych serii temperatury powietrza. W wyniku tych prac istnieje obecnie co najmniej 10 takich serii (GÓRSKI i MARCINIĄK 1992; MIĘTUS 1996, 1998; GŁOWICKI 1998; TREPIŃSKA 1997; LORENC 2000; VIZI i współaut. 2001). Najcenniejsze są najdłuższe serie z Warszawy (od 1779 r.) i z Krakowa (1792 r.). Duże skorelowanie temperatury powietrza na obszarze Polski pozwala na użycie dwóch ostatnich serii temperatury do charakterystyki warunków termicznych w całej Polsce.

W ostatnich kilkudziesięciu latach wyraźnie wzrosła także wiedza o klimacie Polski m. in. dla tzw. okresu przedinstrumentalnego, nie wykraczającego jednak poza początek minionego tysiąclecia (MARSZCZAK 1988, 1991; SADOWSKI 1991; WÓJCIK i współaut. 2000; BOKWA i współaut. 2001; LIMANÓWKA 2001; MAJOROWICZ i współaut. 2001, 2004; KOTARBA 2004; NIEDŹWIEDŹ 2004; PRZYBYŁAK i współaut. 2004, 2005; PRZYBYŁAK 2007).

Głównym celem niniejszego artykułu przeglądowego jest dostarczenie czytelnikom podstawowych informacji dotyczących zmian i zmienności klimatu Europy i Polski w ostatnich stuleciach.

ZMIANY KLIMATU EUROPY

Mimo wyraźnego postępu w ostatnich latach w zakresie rekonstrukcji klimatu dla obszaru Europy, trudno wciąż jest jednoznacznie opisać jego zmiany w ostatnim tysiącleciu. Pamiętać bowiem należy, iż na tak dużym obszarze jaki zajmuje kontynent Europy obserwowane było, jest i będzie zróżnicowanie przestrzenne tendencji zmian klimatu. Ponadto rekonstrukcje klimatu wykorzystujące dane pośrednie ukazują nam przybliżoną rzeczywistość, a ich jakość pogarsza się wraz z cofaniem się z powodu coraz mniejszej liczby dostępnych danych pośrednich. Dlatego też należy mieć te zastrzeżenia na uwadze analizując niżej przedstawiony scenariusz zmian klimatu (głównie

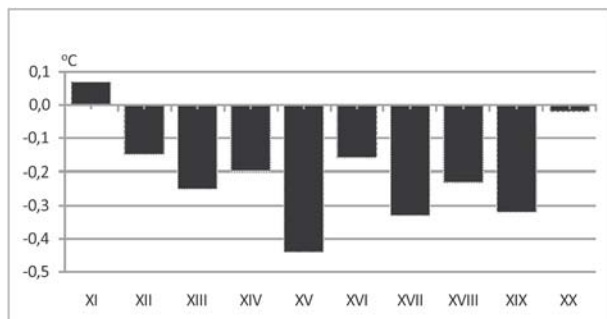
temperatury i opadów atmosferycznych) w Europie.

TEMPERATURA POWIETRZA

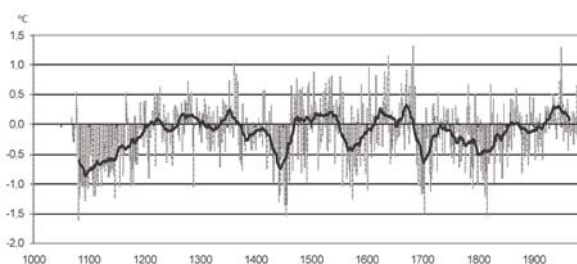
W okresie ostatniego tysiąclecia najprostszym znany schemat zmian klimatu nie tylko w Europie, ale także dla całego świata zaproponował LAMB (1965, 1977, 1984). Wyróżnia się w nim Średniowieczny Okres Ciepły (ŚOC), Małą Epokę Lodową (MEL) i Współczesny Okres Ocieplenia (WOO). Ostatnio, w związku z nowymi uzyskanymi danymi klimatycznymi (szczególnie dla obszaru półkuli południowej), podważa się zasadność używania tego podziału dla całej kuli ziemskiej. Jednak w przypadku Europy, jak wskazuje przegląd

historii klimatu zaprezentowany poniżej, ten podział jest wciąż aktualny. Natomiast należy pamiętać, iż początki i końce wymienionych okresów w różnych obszarach Europy są różne. Również warto nadmienić już teraz, iż w czasie trwania każdego z ww. okresów nie panowały cały czas chłodniejsze (np. w MEL) lub cieplejsze warunki (np. w ŚOC) niż obecnie, jednak wyraźnie one przeważały.

ŚOC w europejskiej części dawnego ZSRR rozpoczął się wyraźnie wcześniej niż w pozostałej części Europy. Według LAMBA (1977) rozpoczął się on tu w 950 r., trwał do 1200 r. i pod tym względem był synchroniczny z klimatem Grenlandii i Ameryki Północnej. BRIFFA (1992), analizując dane dendrochronologiczne, wykazał także, iż w północnej Fennoskandii okres ten występował w tym samym czasie, z wyjątkiem XII w. Wniosek Lamba i wyniki Briffy, potwierdzają w pełni najnowsze badania KLIMENKI i SOLOMINY (w druku) dla Europy Wschodniej, którzy umiejscowili ŚOC w wieku X i XI, wykazując znaczne pogorszenie się warunków termicznych w XII w. (Ryc. 1). Warto w tym miejscu dodać, iż, według ich badań, w okresie ostatnich 2 tys. lat najcieplejszy był właśnie wiek X (0,3°C powyżej średniej z okresu 1951–1980). Cały ŚOC był tu cieplejszy niż XX w. W większości pozostałej części Europy ŚOC w zasadzie rozpoczął się niemal w momencie, kiedy w Europie Wschodniej dobiegał on do końca lub nawet się skończył na niektórych jej obszarach. Najczęściej podaje się, iż trwał on tu od 1150 do 1300 r. (LAMB 1977). Patrząc na rekonstrukcję średniej rocznej temperatury dla niemal całego ostatniego tysiąclecia (od 1069 r.), wykonaną przez GUIOTA (1992) dla nieco mniejszego obszaru Europy (35°N-



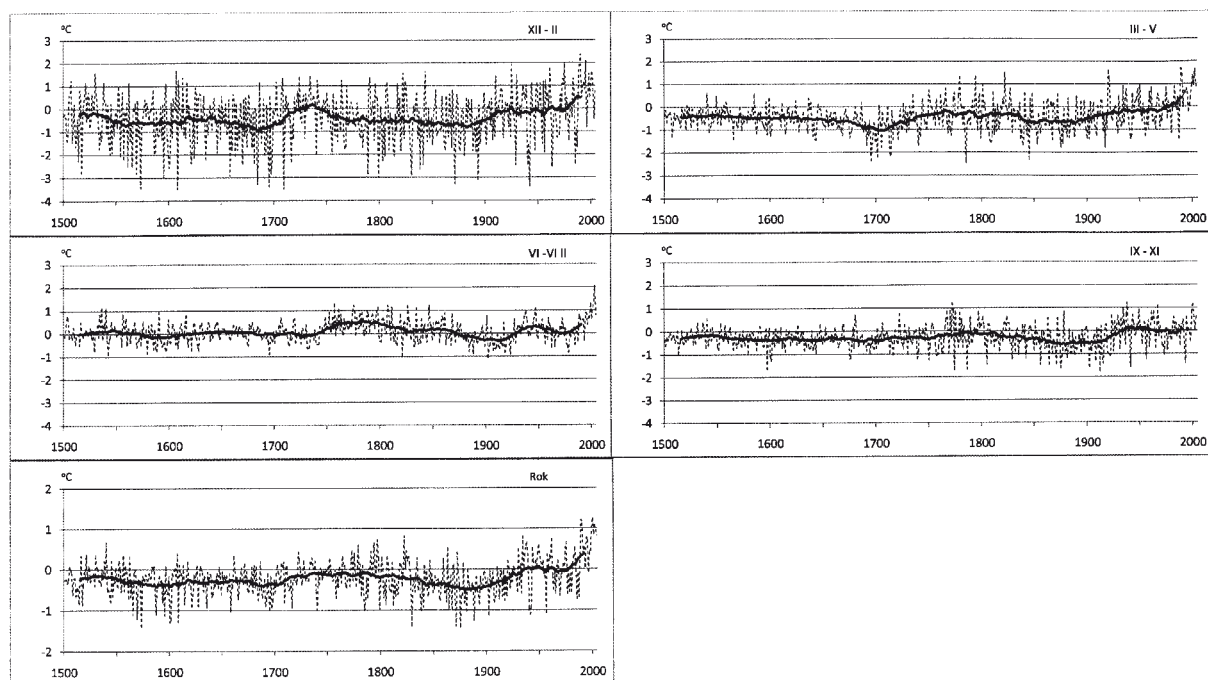
Ryc. 1. Anomalie średnich 100-letnich rocznych wartości temperatury powietrza w Europie Wschodniej w stosunku do średniej z okresu 1951–1980 (wg KLIMENKO i SOLOMIN, w druku).



Ryc. 2. Anomalie średnich rocznych wartości temperatury powietrza w Europie Zachodniej wg rekonstrukcji GUIOTA (1992) w stosunku do średniej z okresu 1851–1979. Objaśnienia: słupki – roczne anomalie, linia – średnie ruchome 30-letnie.

55°N, 10°W-20°E) niż określił to Lamb, początek i koniec ŚOM należałoby datować odpowiednio na ok. 1200 i 1350 r. (Ryc. 2). W porównaniu do okresu 1851–1979, w tym czasie było średnio o ok. 0,2–0,3°C cieplej, dochodząc w niektórych latach (głównie tuż przed zakończeniem ŚOC) do 1°C. W pierwszych 500 latach zeszłego tysiąclecia wg tej rekonstrukcji niezwykle chłodno było w XII w., kiedy średnie temperatury roczne były o przeszło 0,5°C niższe niż w okresie porównawczym. Podobnie niskie temperatury były także odnotowane w połowie XV w. Z badań PFISTERA (1991) wynika, iż w centralnej Europie w okresie 1200–1500 zimy były przeważnie chłodniejsze, a lata cieplejsze, czyli klimat był bardziej kontynentalny.

Znacznie większy zasób informacji klimatycznej jest dostępny dla ostatnich 500 lat historii Europy. W ostatnich latach ukazało się bowiem wiele opracowań autorstwa badaczy szwajcarskich (głównie z Instytutu Geografii Uniwersytetu w Bernie) oraz angielskich (Uniwersytet Wschodniej Anglii) analizujących minione zmiany klimatu w Europie w sposób niezwykle kompleksowy. Jeden z ważniejszych artykułów ukazał się w 2004 r. w *Science* (LUTERBACHER i współaut. 2004), w którym zostały zaprezentowane z pewnością, jak do tej pory, najwiarygodniejsze rekonstrukcje temperatury powietrza (średnie sezonowe i roczne) dla niemal całego obszaru Europy (35–70°N, 25 °W-40°E), z wykluczeniem tylko najbardziej jej wschodnich terytoriów (zobacz także Ryc. 3). Średnia wieloletnia roczna temperatura powietrza w Europie jest nieco wyższa od 8°C i w okresie 1500–1900 wykazywała niewielkie fluktuacje dochodzące do kilkadziesiąt stopnia Cel-



Ryc. 3. Anomalie średnich sezonowych i rocznych wartości temperatury powietrza w Europie wg rekonstrukcji LUTERBACHERA i współaut. (2004) w stosunku do średniej z okresu 1961–1990. Objasnienia: linie przerywane – przebiegi anomalii z roku na rok, linie ciągłe – średnie ruchome 30-letnie.

sjusza. Z Ryc. 3 widać, iż najchłodniej było w drugiej połowie XIX w., kiedy temperatura średnio była ok. $0,5^{\circ}\text{C}$ niższa niż obecnie (1961–1990). Nieco słabsze fale ochłodzeń występowały także na przełomie XVI i XVII w. oraz w końcu XVII w. Natomiast wyraźne i długotrwałe ocieplenia wystąpiły w XVIII i XX w. Wyraźny wzrost temperatury wystąpił także w pierwszej połowie XVI w. Porównując wyniki prezentowane na Ryc. 1 i 3 widać, iż są one zgodne ze sobą, z jedną różnicą, iż w Europie Wschodniej wspomniane ocieplenie XVI-wieczne było silniejsze niż XVIII-wieczne. Także w Europie Wschodniej minimalnie chłodniejszy (o $0,01^{\circ}\text{C}$) był XVII wiek niż XIX wiek. Według LUTERBACHERA i współaut. (2004) w Europie nieznacznie (o $0,02^{\circ}\text{C}$) chłodniejszy był XIX w. Natomiast pełna zgodność w obydwu rekonstrukcjach dotyczy najcieplejszego stulecia w ostatnich 500 latach. XX w. był wyraźnie cieplejszy niż pozostałe stulecia. W analizowanym okresie 1500–2004 (Ryc. 3) najcieplejszym okazał się 2000 r. ($9,7^{\circ}\text{C}$), a najchłodniejszym 1875 r. ($7,0^{\circ}\text{C}$).

Analizując sezonowe wartości temperatury powietrza w badanym okresie (Ryc. 3) widać wyraźnie, iż 30-letnie ich średnie

we wszystkich porach roku (z wyjątkiem lata) były prawie zawsze niższe niż obecnie (1961–1990). W przypadku zimy, cieplej niż obecnie było jedynie w pierwszej połowie XVIII w. Wiosną i jesienią cieplejsze fale wystąpiły już tylko w tym ostatnim okresie, a jesienią także pod koniec pierwszej połowy XX w. W lecie natomiast temperatura najczęściej była bliska normy współczesnej, wykazując wyraźne znaczące ocieplenie, szczególnie w drugiej połowie XVIII w. Najchłodniejszy okres w zimie i wiosną wystąpił pod koniec XVII w., natomiast w lecie i jesienią na przełomie XIX i XX w. Najchłodniejsza zima wystąpiła na początku XVIII w. w 1709 r. ($-3,5^{\circ}\text{C}$), a najcieplejsza w 1990 r. ($1,7^{\circ}\text{C}$), przy średniej temperaturze zimy za cały okres wynoszącej $-1,0^{\circ}\text{C}$. Lato najchłodniejsze odnotowano w 1902 r. ($16,5^{\circ}\text{C}$, tj. $1,1^{\circ}\text{C}$ poniżej normy z okresu 1961–1990), a najcieplejsze w 2003 r. ($19,6^{\circ}\text{C}$, tj. $2,1^{\circ}\text{C}$ powyżej normy).

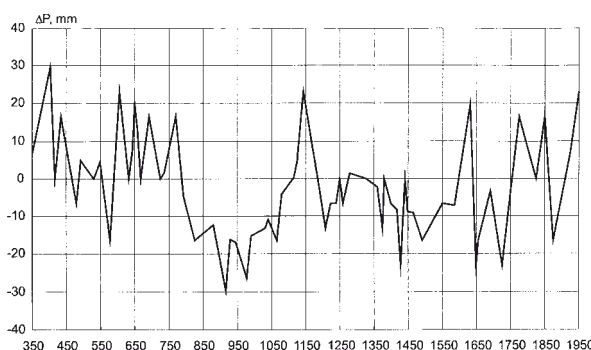
Analizując szczegółowo przedstawione zmiany klimatu w Europie oraz inne dostępne dane trudno jest jednoznacznie określić początek i koniec MEL. Według LAMBA (1977) jej początek określa się na lata 1300–1310, 1430 lub 1560, a koniec na lata 1700, 1850

lub 1900. Patrząc na najbardziej wiarygodną rekonstrukcję obecnie dostępną (Ryc. 3) należy stwierdzić, iż MEL rozpoczęła się przed 1500 r. i jej pierwsza faza trwała do przełomu XVII i XVIII w. Druga jej faza natomiast wystąpiła w XIX w. i na początku XX w. (do ok. 1910–1920 r.). Jest to data o 10–20 lat późniejsza niż dotąd przyjmowano, jednak analizując dane z sezonów letniego i jesienno-wyraźnie widać, iż kulminacja chłodu przeciągnęła się na początek XX w.; także temperatury zimowe były niskie na początku XX w., co w rezultacie spowodowało utrzymywanie się na niskim poziomie również temperatury średniej rocznej (Ryc. 3).

OPADY ATMOSFERYCZNE

Jest to element meteorologiczny najbardziej zmienny w czasie i przestrzeni. Dlatego też prawidłowe jego rozpoznanie wymaga posiadania gęstej sieci punktów obserwacyjnych i częstych pomiarów. W przypadku rekonstrukcji opadów atmosferycznych dla ostatniego tysiąclecia znaczącą przeszkodą jest ponadto dużo bardziej ograniczona dostępność danych pośrednich, pozwalających go rekonstruować, niż ma to miejsce dla temperatury powietrza. W rezultacie element ten jest rzadziej rekonstruowany niż temperatura powietrza, a wiarygodność uzyskanych wyników jest dużo mniejsza. Dlatego też mimo istniejących, jednak niezbyt licznych, rekonstrukcji opadów atmosferycznych dla różnych mniejszych lub większych fragmentów Europy (PFISTER 1991, KLIMANOV i współaut. 1995, PAULING i współaut. 2006, KLIMENKO i SOLOMINA w druku) trudno jest uzyskać jednolity obraz jego zmian. Wydaje się, że ostatnio najbardziej wiarygodną rekonstrukcję opadów dla niemal całej Europy (30°W–40°E i 30–71°N) dla ostatnich 500 lat wykonali PAULING i współaut. (2006).

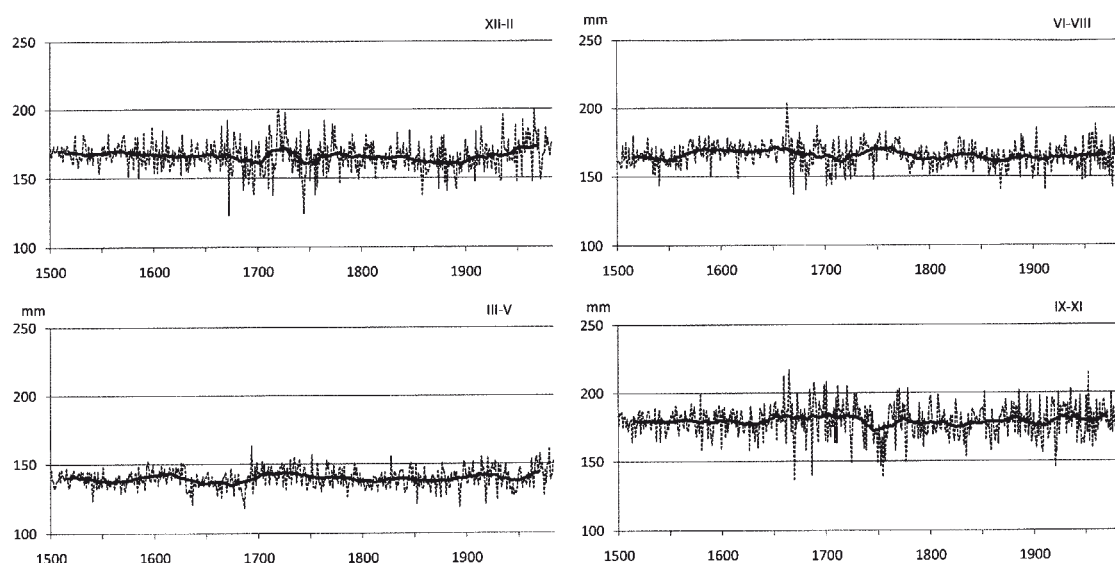
KLIMENKO i SOLOMINA (w druku) stwierdzają, analizując dostępne rekonstrukcje opadów atmosferycznych dla Europy Wschodniej, że w ostatnich 1–2 tysiącach lat nie wystąpił na tym obszarze żaden długookresowy trend. Opady wykazywały liczne mniejsze lub większe fluktuacje, co jest przykładowo zaprezentowane na Ryc. 4 dla obszaru centralnej Rosji. Jak widać z rysunku, na tym obszarze były głównie dodatnie anomalie opadów (w stosunku do średnich z okresu 1951–1980) w okresach 350–800, 1100–1200, ok. 1600 r., 1750–1850 i od 1900 r. Wyraźnie najsuchszy okres wystąpił w latach 800–1100 (średnie anomalie spadały poniżej –10 mm), niezwy-



Ryc. 4. Średnie roczne anomalie opadów w Rosji Centralnej w stosunku do średniej z okresu 1951–1980 (wg KLIMANOVA i współaut. 1995, zmieniona).

kle sucho było także od 1200 do 1600 r. KLIMENKO i SOLOMINA (w druku) zrekonstruowali także roczne opady dla obszaru centralnej i północnej Europy Wschodniej. Początkowy fragment tej rekonstrukcji do ok. 1500 r. jest zbliżony z grubsza do zaprezentowanego na Ryc. 4. W ostatnich 500 latach widać jednak dość znaczne różnice. Wilgotne okresy według tej rekonstrukcji wystąpiły wyraźnie w XVII i XVIII w., z wyjątkiem ich ostatnich 10–20 lat. Natomiast XIX i początek XX w. był najsuchszy w całym ostatnim tysiącleciu i pod tym względem był porównywalny do warunków jakie wystąpiły w końcu pierwszego tysiąclecia naszej ery. Porównując przebiegi opadów atmosferycznych i temperatury powietrza w różnych częściach Europy Wschodniej, KLIMENKO i SOLOMINA (w druku) stwierdzają, iż w północnej części tego obszaru najczęściej suche lata zdarzają się w chłodnych okresach, natomiast na południu jest odwrotnie.

Jak wspomniano wcześniej, PAULING i współaut. (2006) przedstawili ostatnio, jak się wydaje, najbardziej wiarygodne rekonstrukcje sezonowych opadów (Ryc. 5) dla większości obszaru Europy dla okresu od 1500 r., wykorzystując do tego celu różnorodne dane pośrednie. W zimie w pierwszych 200 latach badanego okresu występują bardzo niewielkie zmiany opadów; podobne wyniki uzyskał PFISTER (1991) dla Europy Centralnej. Poczynając od XVIII w. obserwuje się w obydwu wspomnianych rekonstrukcjach wyraźny wzrost zmienności opadów zimowych z dekady na dekadę. Na przełomie XVII i XVIII w. jest wyraźne zmniejszenie się opadów, które na krótko (1705–1720) znacząco wzrosły, aby ponownie szybko spaść. Przeważa-



Ryc. 5. Przebieg uśrednionych obszarowo sezonowych wartości opadów atmosferycznych w Europie wg rekonstrukcji PAULINGA i współaut. (2006).

Objaśnienia: linie przerywane – przebiegi z roku na rok, linie ciągłe – średnie ruchome 30-letnie.

jące ujemne anomalie opadów (z wyjątkiem końca XVIII w.) dominowały wyraźnie aż do XX w., w którym zaobserwowano ich wzrost, szczególnie znaczący w drugiej jego połowie. Średnio najobfitsze opady w Europie wystąpiły zimą 1720 r. (ok. 200 mm), a najmniej ich było w 1744 r. (tylko 124 mm).

Wiosną średnie opady w Europie wykazywały niezbyt duże fluktuacje, z reguły nie przekraczające 10 mm. Suchsze okresy, w porównaniu do normy z lat 1900–1983, wystąpiły w drugiej połowie XVII w., w pierwszych dekadach XIX w. oraz w połowie XX w. Wilgotniejsze od normy wiosny obserwowano na początku XVII w., w pierwszej połowie XVIII w. oraz na początku i w drugiej połowie XX w. Zarówno najsuchsza, jak i najwilgotniejsza wiosna wystąpiła w drugiej połowie XVII w., odpowiednio w latach 1686 (118 mm) i 1693 (163 mm).

Uśrednione obszarowo opady atmosferyczne dla Europy w lecie wykazują najpierw wzrost do 1660 r., potem spadek, a od 1800 r. widoczny jest brak trendu (Ryc. 5). Wilgotniejsze od normy lata wystąpiły wyraźnie od ok. 1570 do ok. 1680 r. i w latach 1740–1780. Nieznacznie suchsze od normy opady letnie występowały natomiast w połowie XVI w. oraz na początku XVIII w. Przeważnie suchszy od normy był też cały XIX w. PFISTER (1991) uzyskał nieco inny obraz zmian dla Europy Centralnej. Dodatnie anomalie opadów wyraźnie prze-

ważały w latach 1500–1800, z wyjątkiem połowy XVI i XVII w., kiedy opady były w normie. W XIX w., podobnie jak w rekonstrukcji PAULINGA i współaut. (2006), dominowały ujemne anomalie, szczególnie jednak duże i trwałe w jego pierwszej połowie. Ekstremalnie pod względem opadów lata, podobnie jak wiosny, wystąpiły w XVII w. Najsuchsze lata stwierdzono w 1666 r. (142 mm) i 1669 r. (137 mm), podczas gdy najwilgotniejszym było lato w 1663 r. (204 mm).

Jesienią opady w Europie w okresie 1500–1650 nie wykazywały większych zmian z dekady na dekadę, ani też trendu. Przez następne 150 lat zmienność opadów wyraźnie wzrosła, aby od 1800 r. ponownie zmaleć. Zmienność opadów w tej prze roku jest o tak dużej częstotliwości, iż trudno jest wyróżnić dłuższe okresy suchsze i wilgotniejsze. Można jedynie stwierdzić, iż nieco wilgotniejsze warunki występowały w okresie 1650–1750, a suchsze w następnym stuleciu. W pozostałych okresach opady były bardzo bliskie normy z lat 1900–1983.

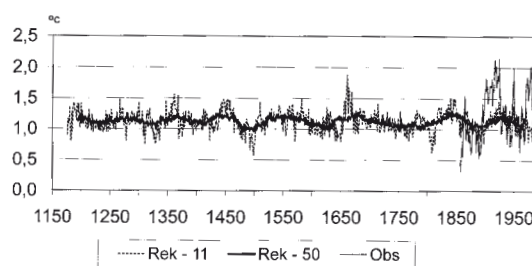
Podsumowując należy stwierdzić, podobnie jak to zrobili KLIMENKO i SOLOMINA (w druku) dla Europy Wschodniej, iż w Europie zdefiniowanej przez PAULINGA i współaut. (2006) brak jest także wyraźnych trendów długookresowych uśrednionych obszarowo sezonowych opadów atmosferycznych w okresie ostatnich 500 lat.

ZMIANY KLIMATU POLSKI

TEMPERATURA POWIETRZA

Podobnie jak dla Europy, również dla obszaru Polski, ze wszystkich elementów klimatycznych, najwięcej informacji zgromadzono o zmianach temperatury powietrza w ubiegłych stuleciach. Wiadomo, iż jest to związane z faktem najściślejszego uzależnienia zjawisk naturalnych od temperatury powietrza w naszych szerokościach geograficznych. Ponadto nie ulega też wątpliwości, iż element ten jest także najważniejszy dla życia i działalności samego człowieka. Dlatego też większość zapisów historycznych, jakie dochowały się do naszych czasów, dotyczy występowania jego ekstremalnych wartości. Jednak mimo to ilość informacji potrzebnych do wiarygodnej rekonstrukcji temperatury powietrza dla pierwszych 500 lat minionego tysiąclecia jest wysoce niewystarczająca (ROJECKI 1965). Również wiarygodność źródeł historycznych z tego okresu jest niewielka, na co zwracał uwagę już w 1922 r. W. Semkowicz, a co potwierdzają również współcześni historycy (Oliński inf. ustna). Dane dendrochronologiczne, które są dostępne, sięgają tylko do 1170 r. (ZIELSKI 1997). Praktycznie więc dla pierwszych dwóch stuleci nie ma prawie żadnych danych pośrednich o klimacie. Można oczywiście podejmować próby rekonstruowania historii zmian temperatury powietrza dla tego okresu na podstawie dostępnych danych z innych obszarów, jak to proponuje MARUSZCZAK (1991), ale ich wiarygodność jest niewielka, szczególnie gdy do tego celu wzięto dane z Wielkiej Brytanii, Grenlandii i Kalifornii, czyli z bardzo odległych obszarów, które w porównaniu z Polską często wykazują odmienny rytm zmian temperatury powietrza (zobacz np. rys. 34.2 w BRADLEY i JONES 1995, gdzie zaprezentowane są rekonstrukcje temperatury powietrza dla Europy i Ameryki Północnej). Od dawna też znana jest przeciwstawność występowania temperatury powietrza w Europie (w tym w Polsce) i na Grenlandii (KOSIBA 1949), szczególnie w zimie; zjawisko to dzisiaj w sposób bardzo prosty daje się wytłumaczyć wpływem cyrkulacji atmosferycznej opisaną za pomocą indeksu Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO). Mając te zastrzeżenia na uwadze można tu przytoczyć, iż wiek XI według MARUSZCZAKA (1991) był prawdopodobnie cieplejszy od normy, a XII w. (szczególnie jego druga połowa) był najcieplejszy w całym tysiącleciu. Zrekonstruowana średnia tempe-

ratura dla miesięcy od stycznia do kwietnia w okresie 1170–1200 była jedną z wyższych, jednak nie najwyższą (Ryc. 6). Te wyniki nawiązują dobrze do rekonstrukcji temperatury powietrza dla Europy Wschodniej (Ryc. 1), natomiast są przeciwstawne do rekonstrukcji GUIOTA (1992) dla Europy Zachodniej (Ryc. 2). Dla lat 1201–1500 mamy już nieco więcej informacji, gdyż dochodzi jeszcze opracowanie SADOWSKIEGO (1991) wykorzystujące, jak wspomniano wcześniej, nieliczne i mało wiarygodne źródła historyczne. Według MARUSZCZAKA (1991) średnie roczne temperatury powietrza były powyżej normy w XIII w. i w pierwszej połowie XIV w., potem przez ok. 100 lat trwało ochłodzenie, a w drugiej połowie XV w. ponownie ociepliło się. Według badań SADOWSKIEGO (1991) w XIII w. było zarówno najmniej ostrych zim, jak i gorących lat w całym badanym przez niego 800 letnim okresie, czyli oznacza to, że wiek ten charakteryzował się największym stopniem oceanizmu klimatu (patrz Ryc. 6 w SADOWSKI 1991). Średnie temperatury okresu styczeń-kwiecień, jak widać z Ryc. 6, były stosunkowo wysokie i niewiele zmieniały się w tym czasie. Podobnie zachowywały się one w XIV w. Badania SADOWSKIEGO (1991) również nie wskazują na większe zmiany temperatury powietrza w tym wieku. Tak więc nie potwierdzają one występowania ochł-



Ryc. 6. Rekonstrukcja średniej temperatury powietrza w okresie od stycznia do kwietnia w Polsce w latach 1170–1994 na podstawie standaryzowanej chronologii szerokości pierścieni drzew sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) (wg PRZYBYŁAKA i współaut. 2001, zmieniona).

Objaśnienia: Rek-11, Rek-50 – odpowiednio średnie ruchome 11- i 50-letnie; rekonstrukcja oparta na kalibracji wykonanej na podstawie serii temperatury obszarowej obliczonej z danych z Warszawy, Bydgoszczy i Gdańska, Obs – średnia temperatura obszarowa od stycznia do kwietnia obliczona z danych z Warszawy, Bydgoszczy i Gdańska.

dzenia klimatu w drugiej połowie XIV w., o którym pisze MARUSZCZAK (1991). Według SADOWSKIEGO (1991) XV w. charakteryzował się największym stopniem kontynentalizmu klimatu w okresie przez niego badanym. W tym czasie wystąpił skokowy wzrost liczby ostrych zim aż do 6 w dekadzie 1451–1460. Bardzo dużo było też gorących lat (od 2–5 w dekadzie). Biorąc pod uwagę fakt, iż o temperaturze średniej rocznej w największym stopniu decyduje temperatura zimy, należałoby stwierdzić, iż szczególnie druga połowa XV w. była chłodna. Rezultat ten jest zatem sprzeczny z oceną przedstawioną przez MARUSZCZAKA (1991), natomiast zrekonstruowane średnie temperatury powietrza dla okresu styczeń–kwiecień wskazują na nieco późniejsze (o ok. 20 lat) wystąpienie tego ochłodzenia (Ryc. 6). Chłodny XV w. w Polsce dobrze koresponduje z klimatem Europy Wschodniej, gdzie był on najchłodniejszy w całym tysiącleciu (patrz Ryc. 1) oraz także z rekonstrukcją przedstawioną przez GUIOTA (1992) dla Europy Zachodniej (patrz Ryc. 2).

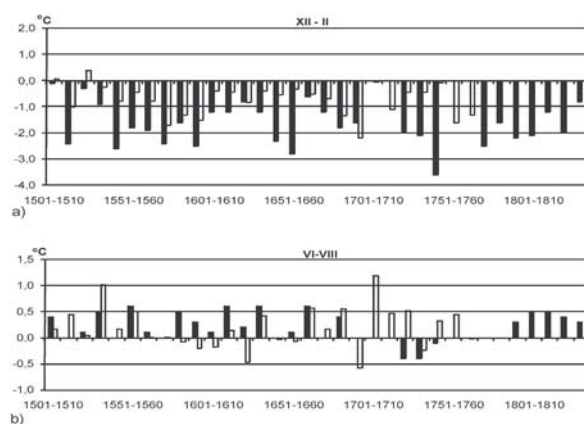
Podsumowując stan wiedzy dotyczącej zmian temperatury powietrza w Polsce w okresie 1001–1500 należy stwierdzić, iż jest on mniej niż skromny, a istniejące rekonstrukcje bardzo niepewne.

Sytuacja pod tym względem polepsza się radykalnie poczynając od XVI w. Dla tego okresu jest już dostępnych kilka udanych prób rekonstrukcji temperatury powietrza przy wykorzystaniu źródeł historycznych (MARUSZCZAK 1991; SADOWSKI 1991; PRZYBYŁAK i współaut. 2004, 2005) lub danych dendrochronologicznych (BEDNARZ 1996; WÓJCIK i współaut. 1999, 2000; PRZYBYŁAK i współaut. 2001, 2005; KACZKA 2004; NIEDŹWIEDŹ 2004). Opublikowane zostały też rekonstrukcje temperatury powietrza na podstawie źródeł historycznych o dużej rozdzielczości (dobowej), ale dla krótszych kilkudziesięcioletnich okresów (BOKWA i współaut. 2001, LIMANÓWKA 2001, NOWOSAD i współaut. 2006).

Średnie 10-letnie wartości temperatury powietrza zimy (XII–II) w okresie 1501–1840 we wszystkich przypadkach były niższe od tych, które wystąpiły w XX w., a także w okresie 1851–1950 (Ryc. 7). Średnio najchłodniejsze zimy wystąpiły w dekadzie 1741–1750 (anomalia wyniosła $-3,6^{\circ}\text{C}$). Duże anomalie (około $-2,5^{\circ}\text{C}$) miały miejsce także w następujących dekadach: 1541–1550, 1571–1580, 1591–1600, 1641–1650, 1651–1660 i 1771–1780. W całym badanym okresie można wyróżnić dwa dłuższe podokresy

z utrzymywaniem się niskich temperatur w zimie (anomalie z reguły poniżej $-1,5^{\circ}\text{C}$): 1540–1600 i 1720–1820. Między tymi dwoma okresami, z wyjątkiem lat 1641–1660, zimy były wyraźnie cieplejsze. Najcieplejsze były one w pierwszej i trzeciej dekadzie XVI w. Z grubsza podobne wyniki zmian anomalii temperatury zimy (przeważnie ten sam znak odchylenia, lecz mniejsze wartości) uzyskał BRÁZDIL (1996) dla obszaru Czech (Ryc. 7, białe słupki). Największe różnice między obydwojema rekonstrukcjami stwierdzono dla okresów 1641–1660 i 1721–1750. Porównanie niniejszych ilościowych rekonstrukcji z wynikami częstości występowania surowych i bardzo surowych zim wskazuje na istnienie istotnych różnic. Na przykład według danych SADOWSKIEGO (1991) najwięcej surowych zim było w drugiej połowie XVI w. i w całym XVII w., a najmniej w XVIII w. Podobny schemat zmian dla średniej temperatury rocznej podaje MARUSZCZAK (1991), który stwierdza, iż kulminacja ochłodzenia nastąpiła w połowie XVII w. Według niego był to najchłodniejszy okres w całym tysiącleciu. Z Ryc. 7 widać, iż rzeczywiście zimy były w tym czasie bardzo srogie, a lata bliskie normy wieloletniej. Ale już w Czechach zimy (także lata) w tym okresie niczym się nie wyróżniały.

Porównując rekonstrukcję temperatury zimy (Ryc. 7) z rekonstrukcją temperatury okresu I–IV (Ryc. 6), odnotować należy przewagę zgodnych (wieki XVIII–XIX) lub niezgodnych (XVI i XVII wiek) ich przebiegów.



Ryc. 7. Porównanie rekonstrukcji temperatury powietrza zimy (a) i lata (b) dla Polski (1501–1840, czarne słupki) i Czech (1500–1769, białe słupki) (wg BRÁZDIL 1996).

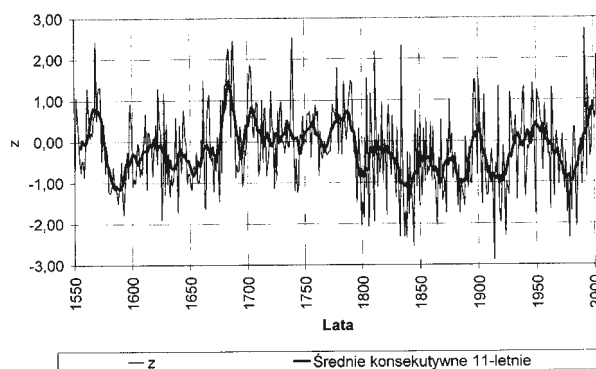
Anomalie liczone względem średnich z okresu 1851–1950 (wg PRZYBYŁAKA i współaut. 2004).

Według PRZYBYŁAKA i współaut. (2004) prawdopodobnymi przyczynami rozbieżności uzyskanych wyników mogą być: (i) nie w pełni porównywalne dane (średnie temperatury z różnych okresów roku, tylko częściowo nakładających się) oraz (ii) niedokładności wykonanych rekonstrukcji.

Rekonstrukcja temperatury powietrza dla sezonu letniego na podstawie danych historycznych jest dużo mniej wiarygodna i kompletna niż dla sezonu zimowego, ponieważ dostępnych jest dużo mniej informacji. Fakt ten jest bardzo dobrze widoczny na Ryc. 7. Tym niemniej, ogólne zarysy zmian są dobrze czytelne. Dodatkowo lub równe zeru anomalie w stosunku do okresu 1851–1950 dominowały w całym badanym okresie, z wyjątkiem XVIII w., z maksimum osiągającym 0,5–0,6°C w dekadach 1551–1560, 1581–1590, 1611–1620, 1631–1640, 1661–1670, 1801–1810 i 1811–1820. Chłodne sezony letnie zanotowano głównie w pierwszej połowie XVIII w., z maksimum w okresie 1721–1740. W porównaniu z obszarem Czech istnieje dość duża zgodność anomalii (z wyjątkiem XVIII w.), chociaż jest ona niższa niż w przypadku zim. Należy jednak dodać, że ze względu na duże braki w rekonstrukcji średnich dekadowych wartości temperatury lata w Polsce pełne porównanie nie jest możliwe. Nie można np. wykluczyć możliwości występowania ciepłych sezonów letnich w Polsce w XVIII w. w dekadach, dla których brak jest danych, tym bardziej, że w Czechach zostały one odnotowane (Ryc. 7).

Powyższa rekonstrukcja średniej temperatury sezonu letniego zasadniczo dotyczy obszaru Polski nizinnej. Ostatnio NIEDŹWIEDŹ (2004) zrekonstruował także średnią temperaturę sezonu letniego dla Tatr dla okresu od 1550 r. (Ryc. 8). Wyróżnił dwie fazy ciepłe (1550–1575 i 1676–1792), dwie fazy chłodne (1576–1675 i 1793–1895) oraz okres współczesny (1896–2004), który aż do 1990 r. charakteryzował się zdecydowaną przewagą anomalii ujemnych. Najcieplejsze lata według tej rekonstrukcji miały miejsce w okresie 1676–1688 z kulminacją w 1687 r. (2,1°C powyżej normy wieloletniej z lat 1927–2004). Ciepłe od tego lata było jedynie lato w 1992 r. (anomalna 2,4°C). Natomiast najchłodniejsze sezony letnie w Tatrach wystąpiły w okresach: 1580–1595, 1830–1850, 1910–1925 i 1970–1985. Najchłodniejsze lato wystąpiło w 1913 r. (-2,5°C poniżej normy wieloletniej).

Porównując przebiegi rekonstrukcji temperatury powietrza sezonu letniego w Ta-



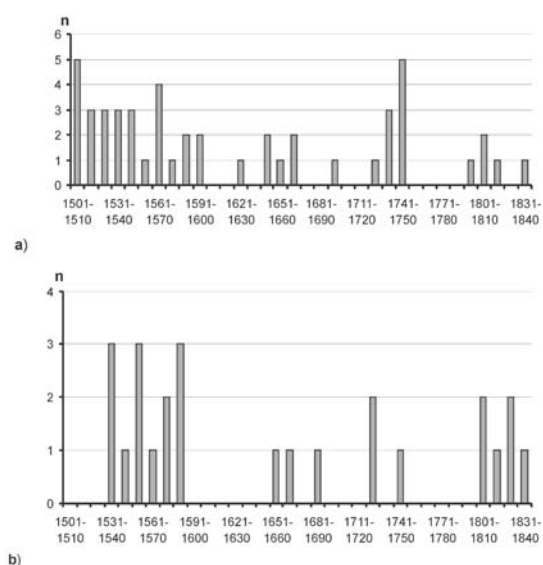
Ryc. 8. Zmienność temperatury lata (VI–VIII) w Tatrach (Hala Gąsienicowa 1520 m n.p.m.) w latach 1550–2004 (wartości standaryzowane „Z”: średnia = 0,0; odchylenie standardowe = 1,0) (wg NIEDŹWIEDZIA 2004).

trach (Ryc. 8) z wcześniej prezentowanymi jej rekonstrukcjami dla Polski nizinnej i Czech (Ryc. 7) należy stwierdzić istnienie większej zgodności z serią z Czech.

Podsumowując należy stwierdzić, iż nasza wiedza o klimacie Polski w minionych 500 latach znacząco wzrosła w ciągu ostatnich lat, tym niemniej jest ona wciąż ograniczona, szczególnie gdy pod uwagę bierzemy sezon letni. Pozwala ona stwierdzić jednak, iż w okresie 1501–1840 klimat Polski cechował się większym niż współcześnie stopniem kontynentalizmu termicznego. Wyniki te są zgodne z obliczeniami wartości indeksu kontynentalizmu prezentowanymi w pracy SADOWSKIEGO (1991).

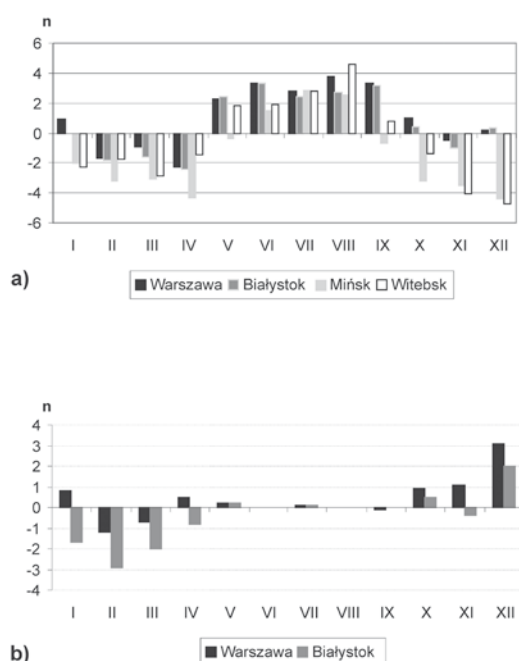
OPADY ATMOSFERYCZNE

Jak wcześniej wspomniano rekonstrukcja opadów atmosferycznych napotyka na dużo większe problemy niż rekonstrukcja temperatury powietrza, głównie z powodu mniejszego wpływu tegoż elementu na zjawiska naturalne (np. przyrost roczny pierścieni drzew) oraz na życie i działalność człowieka (w rezultacie w źródłach historycznych jest dużo mniej wzmianek na temat warunków opadowych w porównaniu z warunkami termicznymi). Z tego powodu też prac opisujących opady atmosferyczne w Polsce w okresie przedinstrumentalnym jest bardzo mało. Dwie prace (MARSZCZAK 1991, PRZYBYŁAK i współaut. 2004) omawiają to zagadnienie dla okresów kilkusetletnich, natomiast kolejne trzy (BOKWA i współaut. 2001; LIMANÓWKA 2001; NOWOSAD i współaut. 2006) już tylko dla okresów kilkunastoletnich lub



Ryc. 9. Częstość występowania (n - liczba przypadków na 10 lat) sezonów letnich (VI-VIII): a) skrajnie wilgotnych i bardzo wilgotnych i b) skrajnie suchych i bardzo suchych (wg PRZYBYŁAKA i współaut. 2004).

kilkudziesięcioletnich. MARUSZCZAK (1991) przytacza jedynie bardzo ogólne informacje o, jak sądzę, średnich rocznych warunkach wilgotnościowych (w pracy okres nie jest sprecyzowany), które należy rozumieć jako warunki opadowe. W XI w. były one przeciętne, natomiast XII w. był najwilgotniejszy w całym tysiącleciu. Początek XIII w. charakteryzował się spadkiem opadów, które w jego drugiej połowie były poniżej normy. W XIV w. opady zaczęły rosnąć i począwszy od jego połowy aż do połowy XV w. były one zmienne, lecz bliskie normy. O następnych 100 latach Maruszczak wspomina tylko, że nastąpiły znaczne zmiany stosunków wilgotnościowych, lecz nie pisze w którym kierunku. Z kontekstu można sądzić jednak, że klimat stał się bardziej wilgotny, przynajmniej w latach 1480-1520. Tego typu hipotezę potwierdzają dane opublikowane przez PRZYBYŁAKA i współaut. 2004 (zobacz także Ryc. 9). Natomiast LIMANÓWKA (2001), na podstawie liczby dni z opadem, stwierdza że w pierwszej połowie XVI w. było dużo mniej opadów niż w okresie współczesnym. Wydaje się jednak, że profesorowie Wszechnicy Krakowskiej nie uwzględniali w swoich notatkach najniższych opadów, które mogły być przez nich niezauważone i dlatego nie odnotowane. Podobny problem w diariuszu Chrapowickiego dla dwóch pierwszych lat



Ryc. 10. Różnice liczby dni z opadami (a) i ze śniegiem (b) między okresem 1656-1667 (diariusz J. A. Chrapowickiego) i współczesnym (wybrane stacje meteorologiczne) z okresu 1931-1960 (wg NOWOSADA i współaut. 2006).

(1656 i 1657) stwierdzili NOWOSADA i współaut. (2006). Dlatego wydaje się, że wartości liczby dni z opadem prezentowane przez LIMANÓWKĘ (2001) powinny być powiększone o ten prawdopodobny błąd. Od połowy XVI w. do połowy XVII w. panowały warunki przeciętne pod względem wilgotnościowym (MARUSZCZAK 1991). Podobne wyniki uzyskali także PRZYBYŁAK i współaut. (2004) (zob. m. in. Ryc. 9). Druga połowa XVII w. była, według rekonstrukcji MARUSZCZAKA (1991), uboższa niż przeciętnie w opady. Jednak przynajmniej najprawdopodobniej dwie pierwsze dekady tego okresu miały opady roczne w normie, latem były one wyższe, a w zimie niższe niż współcześnie (Ryc. 10). Wysokie wartości opadów w czerwcu i lipcu w tym okresie wykazała także rekonstrukcja opadów wykonana na podstawie danych dendrochronologicznych (zobacz Ryc. 2 w PRZYBYŁAK i współaut. 2001). Począwszy od XVIII w. dominowały opady w normie, z wyjątkiem przełomu XVIII i XIX w., w którym było ich mniej (MARUSZCZAK 1991). Wyniki uzyskane przez PRZYBYŁAKA i współaut. (2004) w zasadzie to potwierdzają, z wyjątkiem okresu 1731-1750, który najprawdopodobniej był wilgotniejszy od

normy (Ryc. 9). Rekonstrukcje sum letnich i zimowych opadów atmosferycznych dla Czech (zobacz np. Ryc. 2 w BRÁZDIL 1994)

są zbliżone do tych uzyskanych dla Polski (Tabela 1 i Ryc. 4 w PRZYBYŁAK i współaut. 2004).

WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

1. W Europie Wschodniej najcieplejszym stuleciem w ostatnim tysiącleciu był XI w., natomiast w Europie Zachodniej najprawdopodobniej XX w.; jednak nie można wykluczyć, iż był to także wiek XI (brak danych). Z kolei, najchłodniejsze stulecia wystąpiły odpowiednio w XV i XII w. W ostatnich 500 latach zgodność jest już większa między wspomnianymi obszarami. Najcieplejszy w tym czasie w całej Europie był XX w. Natomiast najchłodniejszymi były wieki XVII i XIX. W Europie Wschodniej nieznacznie chłodniej było w pierwszym z wymienionych okresów, a w Europie badanej przez LUTERBACHERA i współaut. (2004) – w drugim. Wszystkie rekonstrukcje wykazały wyraźną przewagę ujemnych anomalii temperatury powietrza w okresie 1100–1900. Tendencja ta zakończyła się w XX w., w którym odnotowano znaczny wzrost temperatury powietrza. Podział zaproponowany przez LAMBA (1965) na trzy okresy: ŚOC, MEL i WOO jest w świetle przedstawionych wyników uzasadniony.

2. W odróżnieniu od temperatury powietrza, opady atmosferyczne nie wykazały istnienia trendów długookresowych w badanych okresach 1000- (Europa Wschodnia) i 500-letnim (cała Europa). Natomiast odnotowano znaczącą ich zmienność z roku na rok i z dekadę na dekadę.

3. Istniejące niepełne i nie w pełni wiarygodne rekonstrukcje klimatu Polski w ostatnim tysiącleciu wskazują, iż pierwsze 500-lecie (a szczególnie jego pierwsze 300 lat) było cieplejsze niż drugie. Głównie cieplejsze były zimy, lata natomiast mogły być nawet chłodniejsze, jeśli za ich wskaźnik przyjąć częstość występowania gorących lat (zobacz Ryc. 1 w SADOWSKI 1991). A zatem był to okres o dużym, a według SADOWSKIEGO (1991) o największym, stopniu oceanizmu klimatu Polski. W historii klimatu Polski należy zatem wyróżnić ŚOC, który najprawdopodobniej trwał do początku XIV w. (wg danych MARUSZCZAKA 1991) lub do początku XV w. (wg danych SADOWSKIEGO 1991), a więc kończył się podobnie lub później (jeśli przyjąć ocenę SADOWSKIEGO) niż

średnio w Europie. Temperatura powietrza była wtedy najprawdopodobniej średnio wyższa od obecnej o ok. 0,5–1,0°C.

4. Począwszy od XV w. stopień kontynentalizmu klimatu utrzymywał się na wysokim poziomie aż do początku XIX w. W rezultacie w tym czasie występowały znacznie chłodniejsze zimy (o ok. 1,5 do 3,0°C w porównaniu do warunków współczesnych), a cieplejsze lata (średnio o ok. 0,5°C). Średnie roczne temperatury powietrza były najprawdopodobniej niższe od współczesnej o około 0,9–1,5°C. Można tutaj wyróżnić MEL, która wyraźnie rozpoczęła się około połowy XVI w. i najprawdopodobniej zakończyła się w drugiej połowie XIX w.

5. W Polsce więcej opadów niż przeciętnie było najprawdopodobniej w XII w. (szczególnie w jego drugiej połowie), w pierwszej połowie XVI w. oraz także w pierwszej połowie XVIII w. Suszej niż przeciętnie było natomiast prawdopodobnie w drugiej połowie XIII w. i w pierwszej połowie XIX w. W pozostałych okresach warunki opadowe były zbliżone do przeciętnych.

6. Przedstawiona krótka synteza wiedzy na temat historii klimatu Polski i Europy w ostatnim tysiącleciu potwierdza, iż w ostatnich 20–30 latach miał miejsce znaczny postęp badań. Wiedza nasza jednak jest wciąż niewystarczająca i niepewna. Dlatego też zagadnienie zmian klimatu Europy w ostatnim tysiącleciu jest wciąż intensywnie badane w wielu państwach europejskich, w tym w ramach coraz liczniejszych projektów finansowanych przez Unię Europejską.

Serdecznie dziękuję prof. R. Brázdilowi za udostępnienie danych rekonstrukcji temperatury powietrza dla Europy Zachodniej wykonanej przez Guiota oraz dr J. Luterbacherowi za udostępnienie danych rekonstrukcji temperatury i opadów atmosferycznych dla Europy wykonanych w Instytucie Geografii w Bernie. Praca naukowa została sfinansowana ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt badawczy nr N 306 018 32/1027.

CLIMATE CHANGES IN POLAND AND EUROPE IN LAST CENTURIES

Summary

This paper presents a short synthesis of recent studies on climate reconstruction in Poland and Europe, mainly during the last millennium. The two key meteorological variables which have been analysed – air temperature and precipitation – are those for which the most complete details about changes in recent centuries are available. In the last millennium the warmest 100-year periods were the 11th century in eastern Europe, and probably the 20th century in western Europe. For the last 500 years correspondence between temperature runs in these two European regions is significantly better. In both areas the warmest century was the 20th century, while the coldest were the 17th century in eastern Europe and the 19th century in western Europe. However the temperature differences between these centuries in both areas were very small ($<0.03^{\circ}\text{C}$). From 1100 to 1900 negative temperature anomalies prevailed in comparison with the present, while in the 20th century a significant upward trend was observed. The new results confirm the correctness of Lamb's schematic division of the last millennium into a Medieval Warm Period, a Little Ice Age and a Period of Modern Warming. Precipitation does not reveal any trend during the last millennium in eastern Europe, or during the last 500 years throughout almost the whole of Europe. On the other hand, variability over the last half of the millennium shows both large in-

terannual and decadal fluctuations.

In Polish climatic history a Medieval Warm Period can be distinguished, which probably lasted from the 11th century until the 14th or early 15th century. Air temperature in this period was probably higher on average by about $0.5\text{--}1.0^{\circ}\text{C}$ in comparison with contemporary conditions and the climate was characterised by the greatest degree of oceanism throughout the whole millennium. A Little Ice Age can be also distinguished in Poland's climate history. Data show that it clearly began around the mid-16th century and probably ended in the second half of the 19th century. In this period some winters were colder by about 1.5 to 3.0°C in comparison with present conditions, while summers tended to be warmer by about 0.5°C . Mean annual air temperature was probably lower than the modern temperature by about $0.9\text{--}1.5^{\circ}\text{C}$. The reconstruction of precipitation is much more uncertain than is the reconstruction of air temperature. There was probably considerably higher average precipitation in the 12th century (and particularly in the second half of this century), in the first half of the 16th century and also in the first half of the 18th century. The second half of 13th century and the first half of 19th century were drier than average. In other periods precipitation conditions were close to average.

LITERATURA

- BEDNARZ Z., 1996. *June–July temperature variation for the Babia Góra National Park, Southern Poland, for the period 1650–1910*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne 102, 523–529.
- BOKWA A., LIMANÓWKA D., WIBIG J., 2001. *Pre-instrumental weather observations in Poland in the 16th and 17th centuries*. [W:] *History and Climate. Memories of the Future?* JONES P. D., JONES P. D., OGILVIE A. E. J., DAVIES T. D., BRIFFA K. R. (red.). Kluwer Academic/Plenum Publishers, Dordrecht-Boston-London, 9–27.
- BRADLEY R. S., 1999. *Paleoclimatology: Reconstructing climates of the quaternary*. Academic Press, San Diego.
- BRADLEY R. S., JONES P. D. (red.), 1995. *Climate Since A.D. 1500*. Routledge, London.
- BRÁZDIL R., 1994. *Climatic fluctuation in the Czech Lands during the last Millennium*, Geojournal, 32.3, 199–205.
- BRÁZDIL R., 1996. *Reconstructions of past climate from historical sources in the Czech Lands*. [W:] *Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years*. JONES P. D., BRADLEY R. S., JOUZEL J. (red.). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, New York, 409–431.
- BRÁZDIL R., PFISTER CH., WANNER H., VON STORCH H., LUTERBACHER J., 2005. *Historical climatology in Europe – The state of the art*. Climatic Change 70, 363–430.
- BRIFFA K. R., 1992. *Dendroclimatological reconstructions in northern Fennoscandia*. [W:] *Proceedings of the International Symposium on the Little Ice Age Climate*. MIKAMI T. (red.). Tokyo Metropolitan University, Tokyo, 5–10.
- CASTY C., RAIBLE CH. C., STOCKER T. F., WANNER H., LUTERBACHER J., 2007. *A European pattern climatology 1766–2000*. Climate Dynamics 29, 791–805.
- GŁOWICKI B., 1998. *Wieloletnia seria pomiarów temperatury powietrza na Śnieżce*. [W:] *Mat. sesji nauk. „Geoekologiczne problemy Karkonoszy”*, 1, Przysiek, Wyd. Acarus, Poznań, 117–123.
- GÓRSKI T., MARCINIAK K., 1992. *Temperatura powietrza w Puławach w ciągu lat 1871–1990. I Średnia temperatura miesięczna*. Pam. Puławski, Prace IUNG 100, 7–26.
- GUIOT J., 1992. *The combination of historical documents and biological data in the reconstruction of climate variations in space and time*. [W:] *European Climate Reconstructed from Documentary Data: Methods and Results*. FRENZEL B., PFISTER C., GLÄSER B. (red.). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 93–104.
- IPCC 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC 1996. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- JONES P. D., OSBORN T. J., BRIFFA K. R., 2001. *The evolution of climate over the last millennium*. Science 292, 662–667.
- KACZKA R. J., 2004. *Dendrochronologiczny zapis zmian klimatu Tatr od schyłku Małej Epoki*

- Lodowej (na przykładzie Doliny Gąsienicowej). [W:] *Rola Małej Epoki Lodowej w przekształcaniu środowiska przyrodniczego Tatr*. KOTARBA A. (red.). Prace Geograficzne 197, 89–113.
- KLIMANOV V. A., KHOTINSKY N. A., BLAGOVESHENSKAYA N. V., 1995. *Climate fluctuations during the historical times in the center of Russian Plain*. Izvestiya of Russian Academy of Sciences. Geographical Series, 1, 89–96.
- KLIMENKO V., SOLOMINA O., w druku. *Climatic variations in the East European Plain during the last millennium*. Advances in Global Change Research, Springer.
- KOSIBA A., 1949. *Zagadnienie współczesnych oscylacji klimatycznych*. Czasopismo Geograficzne 20, 31–58.
- KOTARBA A., 2004. *Zdarzenia geomorfologiczne w Tatrach Wysokich podczas Małej Epoki Lodowej*. [W:] *Rola Małej Epoki Lodowej w przekształcaniu środowiska przyrodniczego Tatr*. KOTARBA A. (red.). Prace Geograficzne 197, 9–55.
- LAMB H. H., 1965. *The early medieval warm epoch and its sequel*. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 1, 13–37.
- LAMB H. H., 1977. *Climate: Present, Past and Future. Vol. 2: Climate History and the Future*. Methuen, London.
- LAMB H. H., 1984. *Climate in the last thousand years: Natural climatic fluctuations and change*. [W:] *The Climate of Europe: Past, Present and Future*. FLOHN H., FANTECHI R. (red.). D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Boston, Lancaster, 25–64.
- LIMANÓWKA D., 2001. *Rekonstrukcja warunków klimatycznych Krakowa w pierwszej połowie XVI wieku*. Materiały Badawcze IMGW, Seria: Meteorologia 33, 1–176.
- LORENC H., 2000. *Studia nad 220-letnią (1779–1998) serią temperatury powietrza w Warszawie oraz ocena jej wiekowych tendencji*. Materiały Badawcze IMGW, Seria: Meteorologia 31, 1–104.
- LUTERBACHER J., XOPLAKI E., DIETRICH D., RICKLI R., JACOBET J., BECK C., GYALISTRAS D., SCMUTZ C., WANNER H., 2002. *Reconstruction of sea level pressure fields over the Eastern North Atlantic and Europe back to 1500*. *Climate Dynamics* 18, 545–561.
- LUTERBACHER J., DIETRICH D., XOPLAKI E., GROSJEAN M., WANNER H., 2004. *European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500*. *Science* 303, 1499–1503.
- MAJOROWICZ J., ŚAFANDA J., PRZYBYŁAK R., WÓJCIK G., 2001. *Rekonstrukcja zmian temperatury powierzchni gruntu w Polsce w ostatnim 500-leciu na podstawie profili geotermicznych*. *Przegląd Geofizyczny* 4, 305–321.
- MAJOROWICZ J., ŚAFANDA J., PRZYBYŁAK R., WÓJCIK G., 2004. *Ground surface temperature history in Poland in the 16th–20th century derived from the inversion of geothermal profiles*. *Pure Appl. Geophys.* 161, 351–363.
- MANN M. E., BRADLEY R. S., HUGHES M. K., 1999. *Northern Hemisphere temperatures during the past Millennium: Inferences, uncertainties and limitations*. *Geophys. Res. Lett.* 26, 759–762.
- MARUSZCZAK H., 1988. *Zmiany środowiska przyrodniczego kraju w czasach historycznych*. [W:] *Przemiany środowiska geograficznego*. STARKEL L. (red.). Wszelchnica PAN, Ossolineum, Wrocław, 109–135.
- MARUSZCZAK H., 1991. *Tendencje do zmian klimatu w ostatnim tysiącleciu*. [W:] *Geografia Polski – środowisko przyrodnicze*. STARKEL L. (red.). PWN, Warszawa, 182–190.
- MIĘTUS M., 1996. *Zmienność temperatury i opadów w rejonie polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego i jego spodziewany przebieg do roku 2030*. *Mat. Bad. IMGW, Ser. Meteorologia* 26, 1–72.
- MIĘTUS M., 1998. *O rekonstrukcji i homogenizacji wieloletnich serii średniej temperatury ze stacji w Gdańsku-Wrzeszczu 1851–1995*. *Wiad. IMGW* 21, 41–63.
- MOBERG A., SONECHKIN D. M., HOLMGREN K., DATSENKO N. M., KARLEN K., 2005. *Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data*. *Nature* 433, 613–617.
- NIEDŹWIEDŹ T., 2004. *Rekonstrukcja warunków termicznych lata w Tatrach od 1550 roku*. [W:] *Rola Małej Epoki Lodowej w przekształcaniu środowiska przyrodniczego Tatr*. KOTARBA A. (red.). Prace Geograficzne 197, 57–88.
- NOWOSAD W., PRZYBYŁAK R., MARCINIAK K., SYTA K., 2006. *Diariusz Jana Antoniego Chrapowickiego jako źródło do badań klimatu Rzeczypospolitej w II połowie XVII w.* *Clio* 9, 21–60.
- PAULING A., LUTERBACHER J., CASTY C., WANNER H., 2006. *Five hundred years of gridded high-resolution precipitation reconstructions over Europe and the connection to large-scale circulation*. *Climate Dynamics* 26, 387–405.
- PFISTER C., 1991. *Belastung und Belastbarkeit. Klima und Energie in der Geschichte Europas seit dem Mittelalter*. [W:] *Die Menschen und das Klima*. Ascom Holding AG, Bern, 12–19.
- PRZYBYŁAK R., 2007. *The change in the Polish climate in recent centuries*. *Papers on Global Change IGBP* 14, 7–23.
- PRZYBYŁAK R., WÓJCIK G., MARCINIAK K., CHORAŻYCZEWSKI W., NOWOSAD W., OLIŃSKI P., SYTA K., 2004. *Zmienność warunków termiczno-opadowych w Polsce w okresie 1501–1840 w świetle danych historycznych*. *Przegl. Geogr.* 76, 5–31.
- PRZYBYŁAK R., MAJOROWICZ J., WÓJCIK G., 2001. *Zmiany temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Polsce w okresie XVI–XX wiek*. *Prace i Studia Geograficzne* 29, 79–92.
- PRZYBYŁAK R., MAJOROWICZ J., WÓJCIK G., ZIELSKI A., CHORAŻYCZEWSKI W., MARCINIAK K., NOWOSAD W., OLIŃSKI P., SYTA K., 2005. *Temperature changes in Poland from the 16th to the 20th centuries*. *Int. J. Climatol.* 25, 773–791.
- ROJECKI A. (red.), 1965. *Wyjątki ze źródeł historycznych o nadzwyczajnych zjawiskach hydrologiczno-meteorologicznych na ziemiach polskich w wiekach od X do XVI. Wybór i przekład na język polski: R. Girguś i W. Strupczewski*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- SADOWSKI M., 1991. *Variability of extreme climatic events in Central Europe since the 13th century*. *Z. Meteorol.* 41, 350–356.
- SEMKOWICZ W., 1922. *Zagadnienie klimatu w czasach historycznych*. *Przegląd Geograficzny* 3, 18–42.
- TREPIŃSKA J. (red.), 1997. *Wahania klimatu w Krakowie (1792–1995)*. Instytut Geogr. UJ, Kraków.
- VIZI Z., MARCINIAK K., PRZYBYŁAK R., WÓJCIK G., 2001. *Homogenisation of seasonal and annual air temperature series from Bydgoszcz and Toruń*. *Annales Univ. M. Curie-Skłodowska LV/LVI*, 43, 357–367.
- WÓJCIK G., MAJOROWICZ J. A., MARCINIAK K., PRZYBYŁAK R., ŚAFANDA J., ZIELSKI A., 1999. *Temperatura powietrza w Polsce południowo-zachodniej w świetle danych klimatologicznych, geotermicznych i dendroklimatologicznych*. [W:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski*. Ogólnopolska Konferencja Naukowa Łódź, 4–6 listopada 1999. DUBICKI A., DUBICKI A., GUTRY-KORYCKA M., KOZUCHOWSKI K., LORENC H., STARKEL L. (red.). Łódź, 305–315.

- WÓJCIK G., MAJOROWICZ J. A., MARCINIAK K., PRZYBYŁAK R., ŚAFANDA J., ZIELSKI A., 2000. *The last millennium climate change in Northern Poland derived from well temperature profiles, tree-rings and instrumental data.* [W:] *Reconstructions of climate and its modelling.* OBRĘBSKA-STARKEL B. (red.). Instytut Geografii UJ, Prace Geograficzne 107, 137-147.
- ZIELSKI A., 1997. *Uwarunkowania środowiskowe przyrostów radialnych sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w Polsce Północnej na podstawie wielowiekowej chronologii.* Wydawnictwo UMK, Toruń.