

# Zastosowanie skalowanych modeli dendroklimatycznych do rekonstrukcji rzeczywistych warunków termicznych i opadowych na Górnym Śląsku

Magdalena Opała, Maciej J. Mendecki

**Abstrakt.** Na podstawie materiału dendrochronologicznego z drzew żywych oraz drewna historycznego skonstruowano 445-letnią chronologię regionalną *Pinus sylvestris*. Chronologia została zestandaryzowana metodą krzywych sklejaných według kryterium 67% średniej długości serii przyrostowej. Do analiz dendroklimatycznych wykorzystano średnią obszarową z 10 stacji z okresu 1885-2008 (średnia miesięczna temperatura powietrza i miesięczne sumy opadów atmosferycznych). Analiza statystyczna funkcji korelacji i funkcji odpowiedzi umożliwiła wybór zmienných klimatycznych do rekonstrukcji: temperatury marca i opadów atmosferycznych czerwca. Krzyżową kalibrację i weryfikację przeprowadzono w okresach 1885-1947 oraz 1947-2008 dla modeli prostých i złożonych. Wykorzystano różne równania funkcji przejścia reprezentujące liniową zależność elementu klimatu w funkcji indeksu przyrostowego i indeksu lat ekstremalnych, w celu znalezienia najlepszego modelu statystycznego do rekonstrukcji warunków klimatycznych. Zaproponowano także skalowanie jako metodę eliminacji efektu redukcji wariancji zrekonstruowanych wartości.

**Słowa kluczowe:** dendroklimatologia, rekonstrukcja, skalowanie, modele funkcji przejścia, *Pinus sylvestris*, Górny Śląsk

**Abstract.** On the basis of dendrochronological material from living trees and historical wood the 445-year regional chronology of *Pinus sylvestris* was constructed. The chronology was standardized using cubic smoothing spline method according to the criterion of 67% of the average length of an incremental series. Regional mean established on the basis of data from 10 meteorological stations for the common period 1885-2008 (mean monthly air temperature and monthly total precipitation) was used for dendroclimatological analysis. Statistical analysis of the correlation function and response function allowed to select the climate variables for reconstruction: March temperature and June precipitation. Cross-calibration and cross-verification were carried out in 1885-1947 and 1947-2008 periods for simple and complex models. Different equations of the transfer function representing a linear relationship of climate element against ring width index and extreme years index were used in order to find the best statistical model to reconstruct the climatic conditions. The scaling as a method of elimination of the variance reduction effect on the reconstructed values were also proposed.

**Key words:** dendroclimatology, reconstruction, scaling, transfer function models, *Pinus sylvestris*, Upper Silesia

## Wstęp

W związku z globalnymi zmianami środowiska istnieje potrzeba lepszego zrozumienia zmienności klimatycznej w okresie historycznym. Dotyczy to nie tylko zmian o zasięgu globalnym, ale

również tych w skali regionalnej. Wielowiekowe rekordy dendrochronologiczne stanowią dobre źródło danych wysokiej rozdzielczości i są z powodzeniem wykorzystywane do rekonstrukcji klimatu w wielu rejonach świata (Bradley 1999). W Polsce jak pokazują pracę szeregu autorów (np. Bednarz 1984, 1996; Szychowska-Krapiec 1998; Niedźwiedź 2004) rekonstrukcje klimatu obszarów górskich dają najlepsze wyniki, ze względu na istnienie tam jednego czynnika ograniczającego wzrost drzew. Dla pozostałego obszaru kraju również podejmowano próby zrekonstruowania warunków termicznych (np. Krapiec et al. 2009; Szychowska-Krapiec 2010; Zielski et al. 2010; Przybylak 2012). Na obszarach, gdzie brak jest jednego czynnika limitującego wzrost mamy do czynienia z istnieniem mieszane go sygnału dendroklimatycznego, dlatego dla Górnego Śląska przeprowadzono próbę odtworzenia zarówno termiki jak i opadów atmosferycznych, co może być cennym uzupełnieniem istniejącego stanu wiedzy w zakresie klimatologii historycznej Polski.

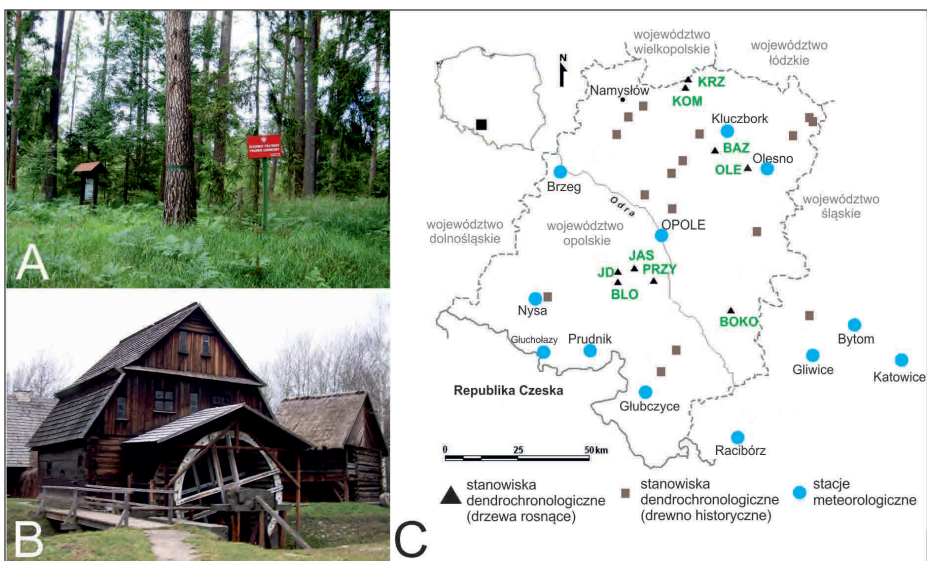
Celem pracy jest znalezienie odpowiednich modeli statystycznych wiążących dendrochronologiczne predyktory z parametrami klimatycznymi oraz eliminacja efektu redukcji wariacji modelu wynikającej z zastosowania metody regresji (eliminacja zmniejszenia amplitud rekonstruowanych danych klimatycznych) w rekonstrukcji warunków termicznych i pluwialnych Górnego Śląska.

## Material i metody

W pracy wykorzystane zostały dane dendrochronologiczne (chronologie szerokości przyrostów rocznych i chronologie lat ekstremalnych) oraz pomiary instrumentalne (średnia miesięczna temperatura powietrza, miesięczne sumy opadów atmosferycznych). Pomiary dendrochronologiczne wykonano na odwiertach z drzew rosnących oraz odwiertach i krążkach z drewna historycznego (Ryc. 1). Szczegóły dotyczące wykorzystanych chronologii lokalnych prezentuje tabela 1. 445-letnią chronologię regionalną *Pinus sylvestris* (Ryc. 2), detrendyzowaną z użyciem krzywej skleja-nej wykorzystującej wielomiany trzeciego stopnia wg kryterium Cook'a (1990) - 67% średniej długości serii przyrostowej, złożono w programie ARSTAN poprzez obliczenie indeksu przyrostowego dwuwagową odporną średnią z redukcją autokorelacji. Ocenę jakości chronologii przeprowadzono za pomocą wskaźnika EPS (*Expressed Population Signal*, miara sygnału populacji) (Hughes et al. 2011). Chronologię lat ekstremalnych wyznaczono przyjmując kryterium występowania jednokierunkowych zmian u 90% drzew. Na podstawie danych meteorologicznych pochodzących z 9 stacji (Bytom, Gliwice, Głubczyce, Głuchołazy, Katowice, Olesno, Opole, Racibórz, Wrocław), wyznaczono średnią obszarową dla okresu wspólnego 1885-2008.

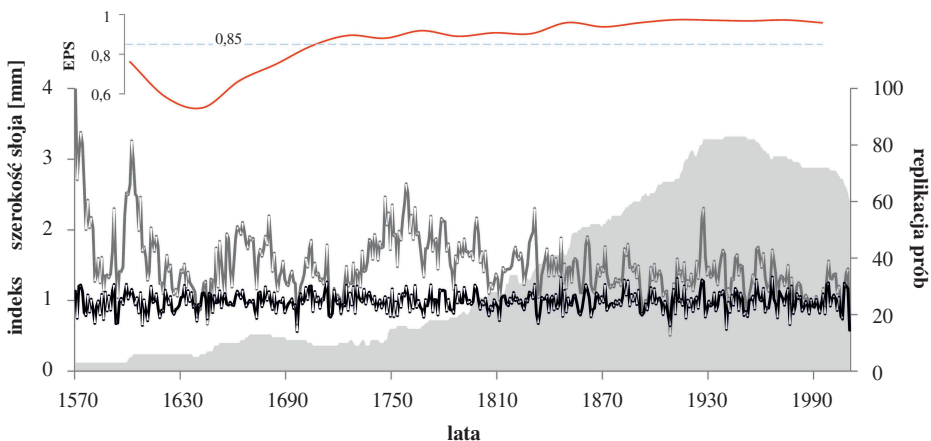
**Tab.1.** Charakterystyka chronologii lokalnych wchodzących w skład chronologii górnośląskiej  
*Table 1. Characteristics of local chronologies included in the Upper Silesian chronology*

Chronologia lokalna	Liczba odwiertów	Zasięg czasowy chronologii (liczba lat)	EPS
BAZ	16	1930-2010 (80)	0,81
BLO	20	1793-2010 (217)	0,93
BOKO	19	1848-2007 (159)	0,79
JAS	27	1815-2009 (194)	0,86
JD	15	1850-2010 (160)	0,87
KOM	15	1767-2009 (242)	0,75
KRZ	15	1833-2009 (176)	0,86
OLE	24	1913-2009 (96)	0,92
HIST	350	1568-1960 (391)	0,84



**Ryc. 1.** Źródła materiału: (A) – rezerwy przyrody, (B) – drewniane obiekty zabytkowe; (C) – lokalizacja stanowisk badawczych

*Fig. 1. Sources of material: (A) – nature reserves, (B) – historic wooden structures; (C) – location of research stands*



**Ryc. 2.** Porównanie chronologii rzeczywistej (szara linia), chronologii rezydualnej (czarna linia) oraz jej wskaźnika EPS (czerwona linia) i replikacji

*Fig. 2. Comparison of the raw chronology (grey line), residual chronology (black line) and its EPS (red line) and replication*

Estymacja modelu funkcji odpowiedzi (*response function*) pozwala wybrać istotne statystyczne elementy klimatu. W tym celu dokonano podziału okresu obserwacji instrumentalnych na dwa 62 letnie interwały: 1885-1946, 1947-2008, które posłużą w dalszej kolejności do kalibracji i weryfikacji funkcji przejścia (*transfer function*). Wybór zmiennych klimatycznych przeprowadzono w programie DENDROCLIM2002 (Biondi, Waikul 2004). Program ten stosuje metodę bootstrap, poprawiającą statystykę poprzez zwiększenie próby losowej, jaką są dane instrumentalne i indeks przyrostowy. Wynikiem przetwarzania danych jest funkcja korelacji i funkcja odpowiedzi (Ryc. 3). Funkcja korelacji obliczana jest dla serii przyrostowej i kolejno wybranej zmiennej klimatycznej, a współczynniki są testowane statystycznie ( $p = 0,05$ ). Funkcja odpowiedzi jest konstruowana z danych zależnych, gdzie elementy klimatu (opady i temperatura) są predyktorami, a indeksy szerokości przyrostów są zmiennymi objaśnianymi. Funkcje odpowiedzi w postaci macierzowej zapisać można jako (Cook, Kairiukstis 1990; Biondi, Waikul 2004; Hughes et al. 2009):

$$\mathbf{Y}_{N \times 1} = (\mathbf{X}_{N \times M}) \mathbf{B}_{M \times 1} + \boldsymbol{\varepsilon}_{N \times 1} \quad (1)$$

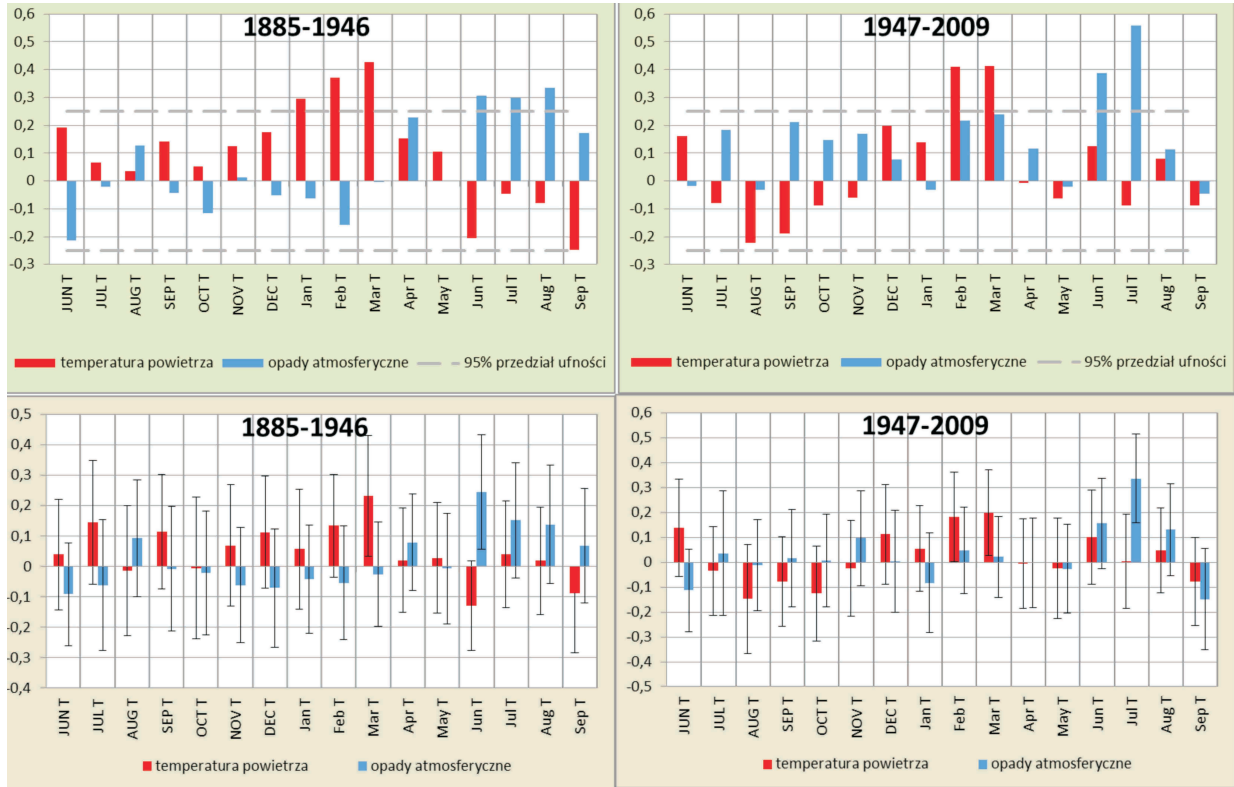
gdzie:  $\mathbf{Y}_{N \times 1}$  —  $N$ -elementowy wektor zmiennych objaśnianych;  $\mathbf{X}_{N \times M}$  — macierz zmiennych objaśniających  $N$ -wierszy,  $M$ -kolumn;  $\mathbf{B}$  — wektor parametrów modelu funkcji liniowej.

Różne publikacje uwzględniają także w macierzy  $\mathbf{X}$  indeksy przyrostów z poprzednich lat, co skutkuje zwiększeniem się wektora  $\mathbf{B}$  o kolejne współczynniki odpowiadające tym przyrostom. W programie DENDROCLIM2002 parametry modelu funkcji odpowiedzi  $\mathbf{B}$  obliczane są za pomocą regresji wielorakiej z użyciem analizy głównych składowych (PCA) (Cook, Kairiukstis 1990; Biondi, Waikul 2004; Hughes et al. 2011):

$$\mathbf{B} = \frac{\mathbf{A}_x \mathbf{L}_x^{-1} \mathbf{A}_x^T \mathbf{X}^T \mathbf{Y}}{N} \quad (2)$$

gdzie:  $\mathbf{A}_x$  — macierz wektorów własnych (*eigenvectors*);  $\mathbf{L}_x$  — macierz wartości własnych (*eigenvalues*); pozostałe oznaczenia jak wyżej. Istotność obliczonych parametrów modelu jest testowana za pomocą metody 95% zakresu percentyli (*Percentile Range Method*) (Biondi, Waikul 2004; Hughes et al. 2011).

Na podstawie analizy korelacji dla interwału kalibracyjnego 1885-1946 wskazano termikę stycznia, lutego i marca oraz opady atmosferyczne w czerwcu, lipcu i sierpniu. Natomiast dla interwału 1947-2008 istotne okazały się współczynniki korelacji pomiędzy „proxy” a termiką lutego i marca oraz opadami atmosferycznymi czerwca i lipca. W pierwszym interwale kalibracyjnym (1885-1946) modelu funkcji odpowiedzi test statystyczny pozytywnie przeszedł współczynniki funkcji odpowiedzi dla termiki marca oraz opadów atmosferycznych czerwca. Drugi interwał kalibracyjny (1947-2008) wskazał na termikę marca i opady atmosferyczne lipca (Ryc. 3). Porównując wyniki otrzymane dla funkcji korelacji i funkcji odpowiedzi do rekonstrukcji warunków klimatycznych wybrano średnią temperaturę marca oraz sumę opadów atmosferycznych czerwca. Ponadto zastosowano metodę kroczących interwałów (Biondi, Waikul 2004), która wskazała, że dla opadów atmosferycznych czerwca współczynniki były istotne statystycznie w całym przedziale kalibracyjnym (inaczej niż w przypadku opadów lipca).



**Ryc. 3.** Wartości korelacji (górne wykresy) z zaznaczonym (szara przerywana linia) granicznym poziomem istotności  $p = 0,05$  oraz wartości parametrów modelu funkcji odpowiedzi (dolne wykresy) z zaznaczonym (szare słupki) 95% przedziałem ufności dla każdego ze współczynników, dla dwóch okresów kalibracyjnych

**Fig. 3.** Correlation values (upper graphs) with the selected (gray dashed line) threshold for statistical significance  $p=0,05$  and the parameters of the response function model (bottom graphs) with the selected (grey bars) 95% confidence limit for each of the coefficients, for the two calibration periods

## Wyniki

W celu rekonstrukcji warunków klimatycznych wyznaczono parametry funkcji przejścia (transfer function), która jest kalibrowana a następnie weryfikowana na dwóch interwałach czasowych dla których dostępne są dane instrumentalne. Idea krzyżowej kalibracji i weryfikacji funkcji przejścia polega na wykonaniu estymacji parametrów modelu na jednym interwale i zweryfikowaniu go na drugim oraz powtórzeniu tej procedury, przy czym interwały są zamieniane. Odwrotnie niż to było w przypadku funkcji odpowiedzi w funkcji transferu predyktorami stają się chronologie przyrostów, które objaśniają elementy klimatu. W tym wypadku współczynniki nie są interpretowane, ale wykorzystuje się je podczas rekonstrukcji klimatu. Funkcja transferu ma postać (Cook, Kairiukstis 1990; Hughes et al. 2009):

$$\mathbf{Y}_{N \times 1} = (\mathbf{X}_{N \times M}) \mathbf{B}_{M \times 1} + \boldsymbol{\varepsilon}_{N \times 1} \quad (3)$$

gdzie  $\mathbf{B}$  jest wektorem parametrów modelu funkcji liniowej. Parametry modelu funkcji przejścia obliczone zostały za pomocą regresji wielorakiej z układu równań normalnych (Cook, Kairiukstis 1990):

$$\mathbf{B} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y} \quad (4)$$

Podczas kalibracji obu rodzajów funkcji zakłada się, że (Cook, Kairiukstis 1990):

- modelowana relacja między przyrostem a środowiskiem jest stacjonarna w czasie, czyli to co występuje obecnie również zaszło w przeszłości, czyli rekonstrukcja warunków klimatycznych w przeszłości jest możliwa tylko wtedy, gdy warunki klimatyczne z okresu wziętego do kalibracji są analogiczne do tych z przeszłości;
- typ relacji pomiędzy zmiennymi  $x$  i  $y$  powinien być szukany poprzez zastosowanie odpowiedniej struktury modelu, t.j. dla relacji liniowej kalibracja wykonana jest poprzez zastosowanie równań liniowych (regresja);
- dane użyte do kalibracji mają rozkład normalny, co pozwala zastosować analizę reszt i statystyki parametryczne służące testowaniu istotności modelu.

Do oceny modelu skalibrowanej funkcji przejścia zastosowano: analizy reszt (histogram i zakres normalności reszt - wizualna ocena poprawności modelu),  $R$  wielorakie (zależność statystyczna zmiennych),  $R^2$  wielorakie (ocena siły związku modelu z danymi), skorygowane  $R^2$  wielorakie (do porównywania modeli o różnej liczbie zmiennych), SEE (*Standard Error of Estimate*, błąd standardowy estymaty) (Cook, Kairiukstis 1990; Hughes et al. 2009).

Funkcje przejścia zweryfikowano po obliczeniu teoretycznych wartości zmiennych klimatycznych i porównaniu z dostępnymi danymi instrumentalnymi. Ocena weryfikacji opiera się na:  $r$  (współczynnik korelacji, porównywany z wartością krytyczną  $r_a$ ),  $r_d$  (współczynnik korelacji pierwszych różnic, porównywany z wartością krytyczną  $r_{ad}$ ), test znaku (*Sign test*, +/- liczba zgodnych i niezgodnych trendów), RE (*Reduction of Error*, redukcja błędu,  $(-\infty; 1)$ ), CE (*Coefficient of efficiency*, współczynnik wydajności,  $(-\infty; 1)$ , surowsza ocena modelu) (Cook, Kairiukstis 1990).

W początkowym etapie prac przygotowano szereg modeli funkcji przejścia uwzględniając jako predyktory: indeks przyrostów w roku ( $I_t$ ) odpowiadający termice lub opadom atmosferycznym w roku,  $P_t$ ,  $T_t$  (Fritts 1976), indeks przyrostów z roku poprzedniego ( $I_{t-1}$ ), indeks przyrostów roku następnego,  $I_{t+1}$ , (Wilson et al. 2005) oraz dodatkowo wskaźnik lat ekstremalnych ( $E$ ). Modele składały się z różnych kombinacji wyżej wymienionych predyktorów. Na podstawie oceny statycznej do rekonstrukcji wybrano te, które wskazywały na najsilniejsze związki pomiędzy zmiennymi klimatycznymi a predyktorami dendrochronologicznymi (Tab. 2).

**Tab. 2.** Ocena kalibracji modeli dendroklimatycznych (funkcji transferu)  
 Table 2. Evaluation of dendroclimatological models calibration (transfer function)

1885-1946				1947-2008			
Temperatura powietrza w marcu							
R	R <sup>2</sup>	Skor. R <sup>2</sup>	SEE	R	R <sup>2</sup>	Skor. R <sup>2</sup>	SEE
0,42	0,18	0,17	2,0	0,41	0,16	0,15	2,1
Analiza reszt							
Opady atmosferyczne w czerwcu							
R	R <sup>2</sup>	Skor. R <sup>2</sup>	SEE	R	R <sup>2</sup>	Skor. R <sup>2</sup>	SEE
0,39	0,15	0,09	24,4	0,38	0,14	0,08	25,1
Analiza reszt							



Kolejnym etapem była weryfikacja otrzymanych modeli, polegająca na porównaniu danych instrumentalnych z danymi obliczonymi ze skalibrowanej funkcji przejścia (Tab.3). Ponieważ krzyżowa kalibracja i weryfikacja dały zadowalającą ocenę statystyczną, wykonano ponowną kalibrację wybranych modeli funkcji przejścia na całym okresie obserwacji instrumentalnych (124 lata). Otrzymano modele, które posłużyły do rekonstrukcji:

$$P=15,60+23,99I_{t-1}+51,67I_t-15,88I_{t+1}+1,83E; R=0,36; R^2=0,13; sR^2=0,10; SEE=24,45$$

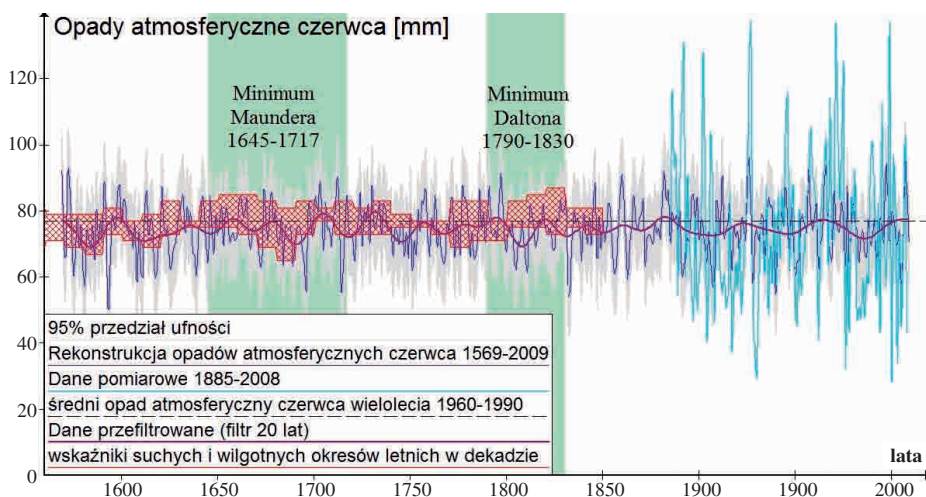
$$T=-3,07+6,29I; R=0,41; R^2=0,17; sR^2=0,16; SEE=2,05$$

**Tab. 3.** Wyniki weryfikacji funkcji przejścia  
*Table 3. The results of transfer function verification*

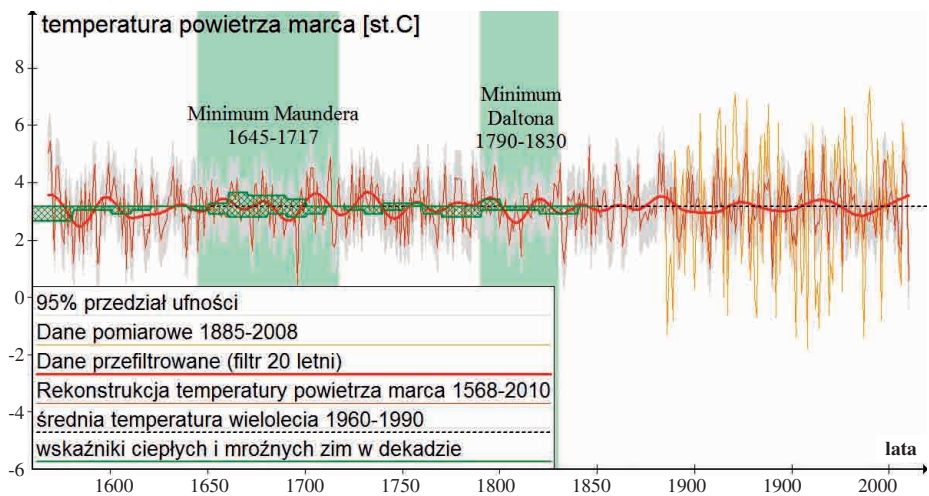
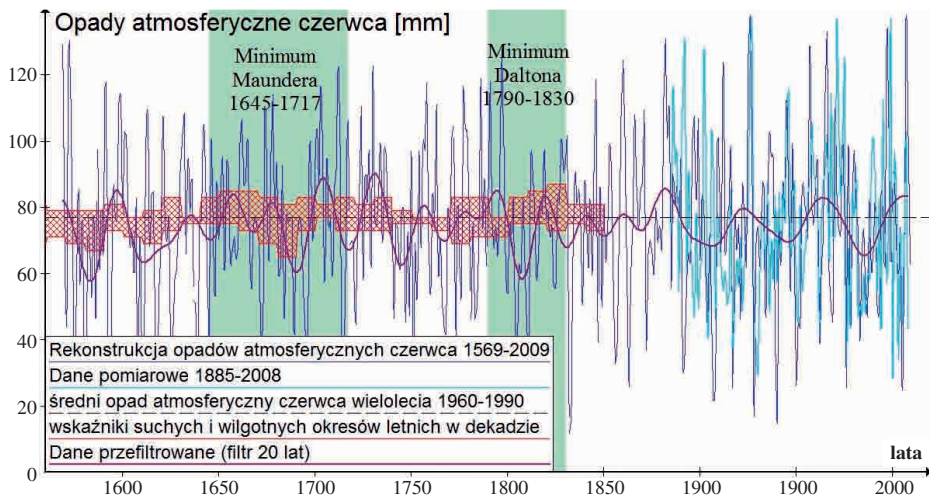
okres	model	parametr	r	r <sub>d</sub>	r	r <sub>d</sub>	RE	Test znaku	CE
1885-1946	prosty	Tm	0,42	0,50			0,178	43 19	0,175
	wieloraki	Pj	0,31	0,40	0,49	0,38	0,092	35 27	0,089
1947-2008	prosty	Tm	0,40	0,52			0,161	40 22	0,158
	wieloraki	Pj	0,31	0,30			0,087	39 23	0,085

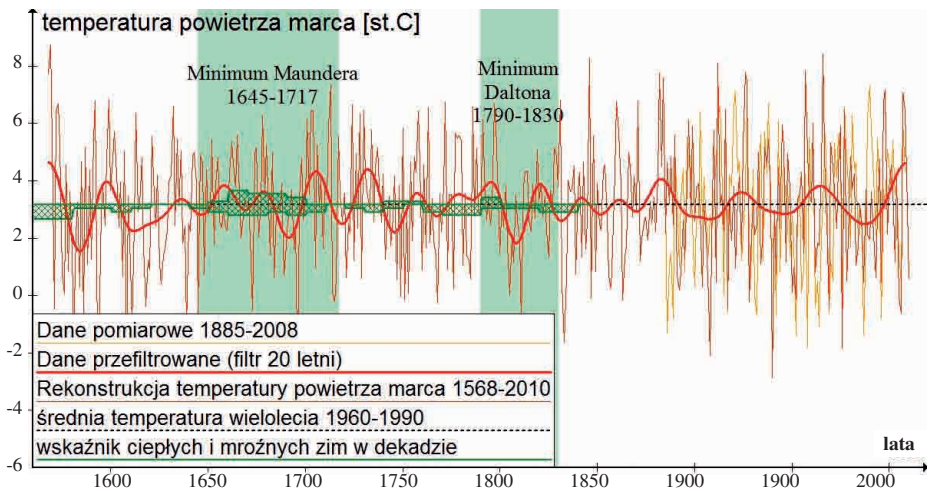
Tm - temperatura marca, Pj - opady czerwca

Zastosowanie regresji wielorakiej (metoda najmniejszych kwadratów) generuje efekt redukcji wariancji w modelu, co przejawia się zmniejszeniem amplitud rekonstruowanych danych klimatycznych. Skalowanie zrekonstruowanych zmiennych klimatycznych powoduje odzyskanie zredukowanej wariancji (Ryc. 4) i polega na podzieleniu standaryzowanych zrekonstruowanych zmiennych klimatycznych przez współczynnik korelacji obliczony pomiędzy danymi instrumentalnymi a odpowiadającym im wartościom „proxy” (Esper et al. 2005; Büntgen et al. 2010). W tabeli 4 przedstawiono porównanie odchyłeń standardowych danych instrumentalnych, zrekonstruowanych i przeskalowanych.









**Ryc. 4.** Rekonstrukcje warunków klimatycznych Górnego Śląska w okresie 1568-1884: (A) - opady atmosferyczne zrekonstruowane za pomocą regresji, (B) - opady atmosferyczne zrekonstruowane i przeskalowane, (C) - temperatura powietrza zrekonstruowana za pomocą regresji, (D) - temperatura powietrza zrekonstruowana i przeskalowana

*Fig. 4. Reconstruction of the climatic conditions of Upper Silesia in the period 1568-1884: (A) - precipitation reconstructed using regression, (B) - precipitation reconstructed and scaled, (C) - the air temperature reconstructed using regression, (D) - the air temperature reconstructed and scaled*

**Tab.4.** Odchylenie standardowe danych instrumentalnych, zrekonstruowanych i przeskalowanych  
*Table 4. Standard deviation of instrumental, reconstructed and scaled data*

	Dane instrumentalne instrumentalne	Rekonstrukcja z regresji wielorakiej	Dane przeskalowane
Temperatura powietrza	2,248	0,870	2,103
Opady atmosferyczne	25,831	8,829	27,156

## Podsumowanie

Analiza statystyczna wskazała, że najlepsze modele rekonstruujące warunki klimatyczne na Górnym Śląsku to: model liniowej zależności temperatury powietrza marca od indeksu przyrostowego oraz model liniowy wielu zmiennych — opady atmosferyczne czerwca w funkcji indeksu przyrostowego (dla bieżącego roku, roku poprzedzającego i roku następnego oraz wskaźnika lat ekstremalnych). Skalowanie wyników regresji eliminuje redukcję wariancji w modelu regresji (amplitudy przeskalowanych wartości parametrów klimatu mieszczą się w podobnym zakresie co wartości instrumentalne). Porównanie z rekonstrukcjami klimatu z innych obszarów potwierdza, iż proponowane modele mają zdolność do odtwarzania, także ekstremalnych warunków pogodowych. Ponadto wykonana rekonstrukcja pozwoliła na wyodrębnienie okresów klimatycznych wyróżnianych w skali kontynentalnej (Minima Maundera i Daltona).

Ze względu na to iż, modele wielu zmiennych dają lepsze rezultaty, planuje się zwiększenie liczby zmiennych w funkcji przejścia (dodatkowe parametry przyrostowe np. szerokość drewna wczesnego i późnego, gęstość oraz zwiększenie liczby gatunków drzew), co pozwoli na poprawę modeli dendroklimatycznych.

## Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N306 139638. Badania realizowane są także dzięki stypendium Projektu „Uniwersytet Partnerem Gospodarki Opartej na Wiedzy”, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

## Literatura

- Bednarz Z. 1984. *The comparison of dendroclimatological reconstructions of summer temperatures from the Alps and Tatra Mountains from 1741-1965*. Dendrochronologia 2: 63-72.
- Bednarz Z. 1996. *June-July temperature variations for the Babia Góra National Park, Southern Poland, for the period 1650-1910*. Zesz. Nauk. UJ 102: 523-529.
- Biondi F., Waikul K. 2004. *DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies*. Comput. Geosci. 30: 303-311.
- Büntgen U., Brázdil R., Frank D. C., Esper J. 2010. *Three centuries of Slovakian drought dynamics*. Clim. Dynam. 35: 315-329.
- Cook E. R., Kairiukstis L. A. (eds.). 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Springer.
- Esper J., Frank D. C., Wilson R. J. S., Briffa K. R. 2005. *Effect of scaling and regression on reconstructed temperature amplitude for the past millennium*. Geophys. Res. Lett. 32, L07711.
- Fritts H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press.
- Hughes M. K., Kelly P. M., Pilcher J. R., LaMarche Jr. V. C. (Eds.). 2009. *Climate from Tree Rings*. Cambridge University Press.
- Hughes M. K., Swetnam T. W., Diaz H. F. 2011. *Dendroclimatology Progress and Prospects*. Developments in Paleoenvironmental Research Volume 11, Springer.
- Krąpiec M., Szychowska-Krąpiec E., Walanus A. 2009. *Rekonstrukcja termiki okresu zimowego w NE Polsce na podstawie sekwencji przyrostów rocznych sosny zwyczajnej z lat 1582-2004 AD*. Prace Kom. Paleog. Czwart. PAU 7: 73-82.
- Niedźwiedz T. 2004. *Rekonstrukcja warunków termicznych lata w Tatrach od 1550 roku*. W: Kotarba A. (ed.) *Rola Małej Epoki Lodowej w przekształcaniu środowiska przyrodniczego Tatr*. Prace Geogr. 197: 57-88.
- Przybylak R. 2012. *Changes in Poland's climate over the last millennium*. Czas. Geogr. 82 (1-2): 23-48.
- Szychowska-Krąpiec E. 1998. *Spruce chronology from Mt. Pilsko area (Żywiec Beskid Range) 1641-1995 AD*. Bull. Pol. Ac. Earth Sc. 46: 75-86.
- Szychowska-Krąpiec E. 2010. *Long term chronologies of pine (Pinus sylvestris L.) and fir (Abies alba Mill.) from the Małopolska region and their paleoclimatic interpretation*, Folia Quatern. 79, Kraków.
- Wilson R. J. S., Luckman B., Esper J. 2005. *A 500 year dendroclimatic reconstruction of spring-summer precipitation from the Lower Bavarian forest region, Germany*. Int. J. Climatol. 25: 611-630.
- Zielski A., Krąpiec M., Koprowski M. 2010. *Dendrochronological Data*. W: Przybylak R., Majorowicz J., Brázdil R., Kejna M. (Eds.). *The Polish Climate in the European Context: An Historical Overview*. Springer. 191-218.

**Magdalena Opala<sup>1\*</sup>, Maciej J. Mendecki<sup>2</sup>**

\*mopala@us.edu.pl

<sup>1</sup>Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski

<sup>2</sup>Zakład Geofizyki Stosowanej, Katedra Geologii Stosowanej,

Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski