

## **Rola wskaźnika NAO w kształtowaniu przyrostów rocznych sosny zwyczajnej**

The role of NAO index  
in formation of Scots pine tree ring width

**Anna Cedro<sup>1</sup>**

**Zarys treści:** Przyrosty roczne drzew (szczególnie sosny zwyczajnej) powstają w wyniku aktywności kambium, która jest w bardzo dużej mierze zależna od temperatury powietrza okresu zimowego poprzedzającego sezon wzrostu. Wykorzystując chronologię sosnową z Pomorza Zachodniego i wartości wskaźnika NAO za pomocą analizy lat wskaźnikowych i funkcji odpowiedzi ustalono zależności przyrost-wskaźnik NAO. Uzyskane wyniki (zależność szerokości przyrostu sosny od zimowych wartości NAO) wskazują na możliwość szerszego wykorzystania chronologii sosnowych do rekonstrukcji wskaźnika NAO oraz potrzebę zbadania relacji przyrost-NAO u innych gatunków drzew.

**Słowa kluczowe:** przyrosty roczne drzew, sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.), wskaźnik NAO, Pomorze Zachodnie

**Key words:** tree ring width, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), NAO index, Western Pomerania

### **Wstęp**

Oscylacja Północnoatlantycka (NAO – North Atlantic Oscillation) określa charakter cyrkulacji nad północną częścią Atlantyku i nad obszarem Europy. Jej zmienność jest podstawową przyczyną przebiegu głównych elementów pogodowych i ich odchyleń od wartości średnich. Wzmocniony napływ mas powietrza znad Atlantyku (pozytywna faza NAO) wiąże się z dużą różnicą ciśnienia między Nizem Islandzkim a Wyżem Azorskim. Wypełnienie Nizu Islandzkiego powiązane ze słabo zaznaczonym Wyżem Azorskim (negatywna faza NAO) powoduje zahamowanie przenosu zachodniego i napływ mas w kierunku południkowym. Częsty napływ nad Polskę w sezonie zimowym polarnych

---

<sup>1</sup> Instytut Nauk o Morzu, Uniwersytet Szczeciński, ul. Wąska 13, 71-415 Szczecin,  
e-mail: Anna.Cedro@univ.szczecin.pl

morskich mas powietrza powoduje wzrost temperatury, a słaby przepływ strefowy może być przyczyną długich i surowych zim (Wibig 2000, Marsz 2002, Niedźwiedź 2002).

Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) jest dominującym gatunkiem lasotwórczym w Polsce i najczęstszym obiektem badań dendroklimatologicznych. Drzewa tego gatunku występujące na obszarach nizinnych naszego kraju są wrażliwe na temperaturę okresu zimowego poprzedzającego okres wegetacji (Feliksik, Jaskólski 1985; Zielski, Sygit 1996; Zielski 1997, Wilczyński 1999, Wilczyński i in. 2001; Zielski, Krąpiec 2004; Cedro 2004). Duże spadki temperatury i długi okres zimowy powodują zahamowanie aktywności kambium i wytworzenie się wąskiego przyrostu rocznego w nadchodzącym sezonie wzrostu. Łagodne i krótkie zimy wpływają pozytywnie na dynamikę przyrostową i powstawanie szerokich przyrostów.

Znając wpływ wskaźnika NAO na kształtowanie się warunków pogodowych w okresie zimowym i reakcje przyrostowe sosny zwyczajnej podjęto się przedstawienia związków szerokości przyrostu rocznego u sosny zwyczajnej rosnącej na Pomorzu Zachodnim z wartościami wskaźnika NAO.

## Material i metody

W latach 1997-2002 pobrano wywierty świdrem Presslera z 263 sosen (*Pinus sylvestris* L.) z różnych siedlisk Pomorza Zachodniego. Na każdej powierzchni (16 stanowisk badawczych) nawiercono minimum 12 drzew na wysokości pierśnicy (1,3 m nad poziomem gruntu). Miejsca poboru prób zabezpieczono maścią grzybobójczą (LacBalsamem) oraz drewnianymi kołkami o tej samej średnicy co świder Presslera. Wywierty wklejono w laboratorium w specjalne listewki oraz nożami preparacyjnymi ścięto powierzchnię do uzyskania czytelnego obrazu słoju przyrostu rocznego. Pomiaru szerokości przyrostów rocznych dokonano, przy wykorzystaniu aparatury do pomiarów dendrometrycznych, z dokładnością do 0,01 mm, mierząc dwukrotnie tę samą próbę od partii najbliższych rdzeniowi w kierunku kory (Krawczyk 1995; Krawczyk, Krąpiec 1995; Mindur 2000, Walanus 2001). Następnie korzystając z klasycznych metod datowania dendrochronologicznego (Cook, Kairiukstis 1992; Kaennel, Schweingruber 1995; Zielski, Krąpiec 2004) złożono dla każdej powierzchni badawczej chronologię lokalną, a po przeprowadzeniu dalszych analiz statystycznych wybrano z całego obszaru badań najlepiej korelujące ze sobą drzewa (86) i złożono chronologię regionalną o sygnaturze PZsosna. Chronologia ta liczy 226 lat i reprezentuje okres od 1777 do 2002 r. (Cedro 2004). Uzyskana krzywa dendrochronologiczna pozbawiona jest indywidualnych trendów osobniczych i reakcji odbiegających od normy, reprezentuje zmienność szerokości przyrostów rocznych sosny zwyczajnej na Pomorzu Zachodnim.

Na podstawie chronologii PZsosna wyliczono lata wskaźnikowe, charakteryzujące się odmiennym niż w latach sąsiadujących trendem wzrostowym (zwiększeniem lub zmniejszeniem szerokości przyrostu rocznego) w całej populacji badanych drzew (Cook, Kairiukstis 1992; Kaennel, Schweingruber 1995; Cedro 2004). Lata wskaźnikowe uzyskano przy wykorzystaniu programu TCS (Walanus 2002) stosując minimalny próg zgodności, wynoszący 90% i minimalną liczbę drzew wynoszącą 10. Uzyskano 9 lat

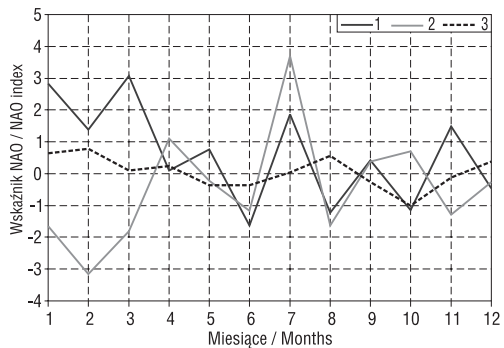
wskaźnikowych: 4 pozytywne (1878, 1884, 1920, 1945) i 5 negatywnych (1877, 1917, 1940, 1969, 1976) (Cedro 2004).

Wartości wskaźnika NAO w poszczególnych miesiącach w latach 1825-2000 zostały pobrane ze strony [www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm](http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm). Posłużyły one do analizy funkcji odpowiedzi określającej zależność szerokości przyrostu rocznego od wskaźnika NAO. Metoda ta polega na zasadzie analizy regresji wielokrotnej, gdzie jako zmienne niezależne występują miesięczne wartości wskaźnika NAO. Analizę wykonano wykorzystując pakiet programów DPL, program RESPO (Holmes 1983, 1994), w okresie 16 miesięcy: od lipca roku poprzedzającego przyrost do września aktualnego roku wegetacji. Obliczeń dokonano w odniesieniu do lat: 1831-1880, 1881-1930, 1931-1980, 1981-2000 i 1831-2000. Wynikiem analizy są współczynniki korelacji i regresji oraz współczynnik determinacji ( $r^2$ ) określający siłę związku pomiędzy badanymi cechami.

## Wyniki

Pozytywne lata wskaźnikowe, cechujące się wzrostowym trendem przyrostowym, przypadają na lata, w których wskaźnik NAO w okresie zimowym (od stycznia do marca) wynosił powyżej 1,12 (średnio w wyznaczonych latach 1,73 przy średniej 0,52 w całym wieloleciu 1831-2000). W latach negatywnych wartość wskaźnika NAO (od stycznia do marca) wynosiła średnio -0,51, spadając najbardziej do -2,20 w 1969 r. W latach 1877 i 1976 jednak indeks NAO był wyższy od średniej wieloletniej (1,30), a mimo to ponad 90% badanych drzew zareagowało spadkiem szerokości przyrostu rocznego. Oba te lata charakteryzowały się niskimi wartościami wskaźnika NAO w miesiącach wiosennych, redukcja szerokości słoju spowodowana mogła być także innymi czynnikami, jak np. atakiem patogenów, suszą lub surowymi warunkami zimowymi w ubiegłych latach. Rok 1920 może być przykładem pozytywnego roku wskaźnikowego. Miesiące zimowe (styczeń, luty i marzec) charakteryzowały się dodatnimi wartościami wskaźnika NAO (ryc. 1), także średnia w roku (0,62) była wyższa od średniej wieloletniej (0,10). Rok 1969 (negatywny rok wskaźnikowy) cechował się ujemnymi wartościami NAO w okresie zimowym, także średnia roczna była poniżej zera (-0,44) (ryc. 1).

Analiza funkcji odpowiedzi wykazała najsilniejsze związki (istotne statystycznie) szerokości przyrostu rocznego ze wskaźnikiem NAO w styczniu, lutym i marcu (tab. 1). W tych miesiącach wskaźniki kore-



Ryc. 1. Przebieg wskaźnika NAO, 1 – w 1920 r., 2 – w 1969 r., 3 – średnie wartości w latach 1824-2000

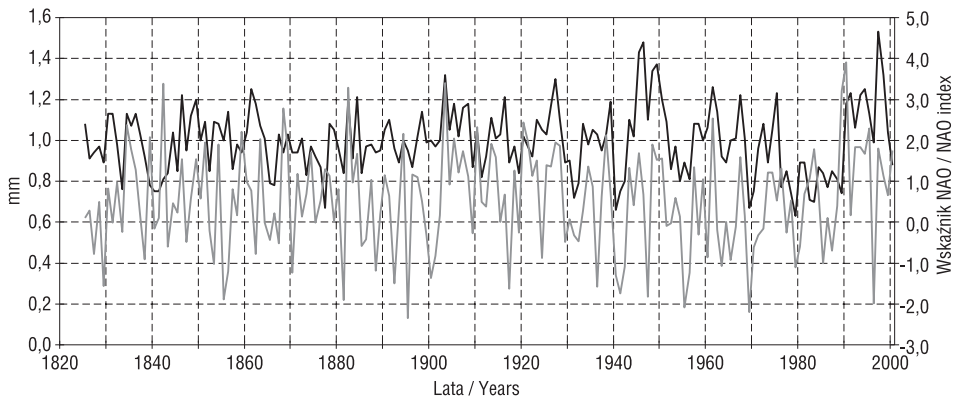
Fig. 1. Comparison of NAO Index, 1 – for 1920, 2 – for 1969, 3 – for time span 1824-2000

lacji i regresji uzyskują wartości dodatnie, tzn. wzrostowi wartości wskaźnika NAO odpowiada wzrost szerokości przyrostu radialnego. W maju występują ujemne wartości korelacji i regresji. Współczynnik determinacji określający siłę związku między aktywnością kambium i wskaźnikiem NAO wzrasta wraz z biegiem lat (od 7% do 73%, tab. 1),

Tab. 1. Wyniki funkcji odpowiedzi: (+) dodatnie wartości wskaźnika korelacji i regresji wielokrotnej, (-) ujemne wartości korelacji i regresji,  $r^2$  – wskaźnik determinacji. Wartości istotne statystycznie przy  $\alpha = 0.05$ . VIP – czerwiec roku poprzedzającego przyrost, VI – czerwiec bieżącego roku wegetacji

Table 1. Response function results: (+) positive, (-) negative correlation and multiple regression coefficient,  $r^2$  – determination coefficient. Significant results for  $\alpha = 0.05$ . VIP – previous June, VI – June of current vegetation season

Lata / Years	$r^2$	Współczynnik korelacji / Correlation coefficient																
		VIP	VIIIP	VIIIP	IXP	XP	XIP	XIIP	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1831-1880	7%																	
1881-1930	55%	-							+	+	+		-	-				
1931-1980	58%								+	+			-	+				
1981-2000	73%				-					+			-	-			-	
1831-2000	23%								+	+	+		-					
		Współczynnik regresji / Regression coefficient																
1831-1880	7%																	
1881-1930	55%			-	-				+		+		-	-		-		
1931-1980	58%						-		+	+	-	-	-	+			-	
1981-2000	73%	-	-		-	-		-		+			-			-	-	
1831-2000	23%								+	+	+	-				+		



Ryc. 2. Zestawienie chronologii PZsosna (linia czarna) i wskaźnika NAO w miesiącach styczeń-marzec (linia szara)

Fig. 2. Comparison of chronology PZsosna (black line) and NAO index for January-March (gray line)

w całym wieloleciu 1831-2000 osiągając wartość 23%. Współczynnik determinacji w latach 1831-1880 był bardzo niski, co trudno uzasadnić.

Na podstawie przeprowadzonych analiz dendroklimatologicznych (lat wskaźnikowych i funkcji odpowiedzi) zestawiono chronologię PZsosna i wskaźnik NAO od stycznia do marca (ryc. 2). Porównując przebieg obu krzywych można przyjąć, że wysokim wartościom wskaźnika NAO odpowiada zwiększenie szerokości przyrostu rocznego, a minimum indeksu NAO zmniejszony przyrost. Współczynnik korelacji z lat 1825-2000 między porównywanymi krzywymi wynosi 0,38.

## Podsumowanie i dyskusja

Uzyskane wyniki analizy zależności przyrost-wskaźnik NAO dla gatunku *Pinus sylvestris* L. występującej na Pomorzu Zachodnim oraz podobieństwo przebiegu chronologii sosnowej i NAO (od stycznia do marca) wskazują na bardzo duży wpływ wskaźnika NAO na aktywność kambium i kształtowanie się przyrostu rocznego. Uzyskane wartości statystyczne są jednak niższe niż w przypadku analizy serii pomiarów meteorologicznych, ponieważ drzewa jako żywe organizmy reagują za szeroki zespół czynników, które nie zawsze da się opisać liczbowo.

Intensywność napływu mas powietrza znad Atlantyku nad obszar Polski w okresie zimowym jest głównym czynnikiem kształtującym temperaturę powietrza w tej porze roku. Przeprowadzone wcześniej analizy dendroklimatologiczne wskazują na temperaturę jako dominujący czynnik wpływający na szerokość przyrostów rocznych u sosny (Cedro 2004). Zależności temperatura powietrza-przyrost są silniejsze i występują w szerszym przedziale czasowym (od grudnia do kwietnia) z maksymalnymi wartościami w lutym) niż zależności wartość współczynnika NAO-przyrost.

Wyniki analiz dendrochronologicznych były już wykorzystywane do rekonstrukcji wskaźnika NAO (Cook i in. 1998, Cullen i in. 2001; Gluck, Stockton 2001; Lindholm i in. 2001). Najczęściej wykorzystywane są chronologie drzew iglastych (różne gatunki sosny) z Europy Zachodniej i Ameryki Północnej, rzadziej rekonstrukcje dotyczą dębów i innych gatunków drzew. Na podstawie przyrostów rocznych sosny E.R. Cook i in. (1998) zrekonstruowali zimowy wskaźnik NAO (grudzień-luty). W odniesieniu do tego okresu uzyskują najwyższe wskaźniki korelacji szerokości przyrostu rocznego u *Pinus sylvestris* L. i NAO.

Sosna zwyczajna z północnej Europy jest także podstawą rekonstrukcji wskaźnika NAO. Drzewa rosnące na północnej granicy lasu wykazują wrażliwość na przebieg wskaźnika NAO w miesiącach letnich (czerwiec-sierpień). Drzewa z północnego wybrzeża Morza Bałtyckiego reagują na zimowe zmiany NAO (pozytywne wartości korelacji w miesiącach grudzień-luty) (Lindholm i in. 2001). Na tej podstawie wykonana została rekonstrukcja wskaźnika NAO (od grudnia do lutego) w latach 1893-1981.

## Literatura

- Cedro A., 2004, *Zmiany klimatyczne na Pomorzu Zachodnim w świetle analizy sekwencji przyrostów rocznych sosny zwyczajnej, daglezi zielonej i rodzimych gatunków dębów*, Oficyna In Plus, Szczecin.
- Cook E.R., D'Arrigo R.D., Briffa K.R., 1998, *A reconstruction of the North Atlantic Oscillation using tree-ring chronologies from North America and Europe*, *The Holocene*, 8, 1, 9-17.
- Cook E.R., Kairiukstis A., 1992, *Methods of dendrochronology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Cullen H.M., D'Arrigo R.D., Cook E.R., 2001, *Multiproxy reconstructions of the North Atlantic Oscillation*, *Paleoceanography*, 16, 1, 27-39.
- Feliksik E., Jaskulski W.J., 1985, *Badania dendroklimatologiczne nad sosną pospolitą (Pinus sylvestris)*, *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Leśnictwo*, 16, 197, 13-23.
- Glueck M.F., Stockton C.W., 2001, *Reconstruction of the North Atlantic Oscillation, 1429-1983*, *Int. J. Climatol.*, 21, 12, 1453-1465.
- Holmes R.J., 1983, *Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement*, *Tree-Ring Bull.*, 43, 69-78.
- Holmes R.J., 1994, *Dendrochronology Program Library*, Users Manual, University of Arizona, Tucson.
- Kaennel M., Schweingruber F.H., 1995, *Multilingual Glossary of Dendrochronology*, WSL FNP, Haupt.
- Krawczyk A., 1995, *Program komputerowy TREE RINGS*, Kraków.
- Krawczyk A., Krąpiec M., 1995, *Dendrochronologiczna baza danych*, Materiały II Krajowej Konferencji *Komputerowe wspomaganie badań naukowych*, Wrocław, 247-252.
- Lindholm M., Eggertsson O., Lovelius N., Raspopov O., Shumilov O., Läänelaid A., 2001, *Growth indices of North European Scots pine record the seasonal North Atlantic Oscillation*, *Boreal Environ. Res.*, 6, 275-284.
- Marsz A.A., 2002, *Wprowadzenie (istota NAO, historia, wskaźniki)*, [w:] *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, A.A. Marsz, A. Styczyńska (red.), Wyd. Uczelniane Akademii Morskiej, Gdynia, 11-29.
- Mindur B., 2000, *Dendrometer 1,0*, Kraków.
- Niedźwiedz T., 2002, *Relacje między NAO a wskaźnikami cyrkulacji nad Polską*, [w:] *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, A.A. Marsz, A. Styczyńska (red.), Wyd. Uczelniane Akademii Morskiej, Gdynia, 87-97.
- Walanus A., 2001, *DendroGraph – program druku krzywych grubości stojów przyrostów rocznych*, *Instrukcja obsługi programu DendroGraph*, Kraków.
- Walanus A., 2002, *Instrukcja obsługi programu TCS. Program TCS do obliczania lat wskaźnikowych*, Kraków.
- Wibig J., 2000, *Oscylacja Północnoatlantycka i jej wpływ na kształtowanie pogody i klimatu*, *Prz. Geofiz.*, 45, 2, 121-137.
- Wilczyński S., 1999, *Dendroklimatologia sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) z wybranych stanowisk w Polsce*, Praca doktorska wykonana w Zakładzie Klimatologii Leśnej AR w Krakowie, maszynopis.
- Wilczyński S., Krąpiec M., Szychowska-Krąpiec E., Zielski A., 2001, *Regiony Dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w Polsce*, *Sylwan*, 8, 53-61.

- www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm: Data for NAO index calculated from Gibraltar and SW Iceland.
- Zielski A., 1997, *Uwarunkowania środowiskowe przyrostów radialnych sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w Polsce Północnej na podstawie wielowiekowej chronologii*, Wyd. UMK, Toruń.
- Zielski A., Krapiec M., 2004, *Dendrochronologia*, PWN, Warszawa.
- Zielski A., Sygit W., 1996, *Wpływ klimatu na przyrost radialny sosny, badania wzdłuż równoleżnika 52 N i na transekcie Śląsk-Białowieża*, Inst. Geogr. PAN, Warszawa.

## Summary

The study presents the results of dendroclimatological research on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from NW Poland. The goal of the research was to determine the influence of the seasonal indices of the North Atlantic Oscillation on the width of annual growth rings in Scots pine.

The sampling was carried out with Pressler increment borers. Measurements of tree-ring widths with an accuracy of  $\pm 0.01$  mm were performed with dendrometric measurement equipment. Statistical treatment and graphical presentation of the data were carried out using the TREE-RINGS (Krawczyk 1995; Krawczyk, Krapiec 1995), DendroGraph (Walanus 2001), and DPL (Holmes 1983, 1994) computer applications. Analyses of signature years were performed with the TCS (Walanus 2002) for chronology application. The signature years were determined from a minimum of 10 trees, at a minimum convergence threshold of 90%. Statistical analysis of the influence of the NAO index on tree growth was made on indexed averages in order to eliminate non-climatic signals (age trend and autocorrelation). Therefore, the measured chronologies were replaced by the residual ones (RES) in the ARSTAN application (from the DPL set, Holmes 1994). In the response function analysis the influence of climatic factors on tree-ring patterns was examined for 16-month intervals (from June of the previous year to September of the year being analysed) in the periods 1831-1880, 1881-1930, 1931-1980, 1981-2000 and 1831-2000 (Table 1).

Field work was performed during the years 1997-2002 in forest areas under the control of the Regional Direction of National Forests in Szczecin. The forest areas include nature reserves as well an area in the Wolin National Park. Altogether 16 research plots were established for the species *Pinus sylvestris* L. (Scots pine) and core samples, the basic research materials, were taken from 263 trees. Comparisons of statistical parameters permitted the selection of the 86 most convergent sequences which were used for the construction of the regional chronology for the species *Pinus sylvestris* L., labelled PZsosna. The 226-year long standard covers the period 1777-2002.

The Scots pine chronology clearly responds to the seasonal variability in the NAO, especially variation during the winter period (January-March) (Fig. 1). In most cases where a negative signature year occurred the determining factors were the NAO indices for winter (January and February) and the beginning of spring (March). Low values in these months resulted in the formation of narrower growth rings in the subsequent vegetation season. Positive signature years were generally associated with mild winters

followed by early and warm springs (represented by positive values of the NAO index). Results of the dendroclimatological analysis – response function, for the species *Pinus sylvestris* L. (relationships between tree-ring widths and NAO index) are presented in Table 1. Formation of annual growth rings is mostly dependent on the NAO indices for January, February and March (positive correlation and multiple regression coefficients) and May (negative values). The plot of the average NAO index for the months January-February-March against the widths of annual rings of the species *Pinus sylvestris* L. from Western Pomerania, together with results of dendroclimatological analyses carried out, revealed that narrow rings corresponded to low values of NAO index and wide rings correspond to positive values of the mean NAO index (January-March) in the interval analysed (Fig. 2).

Scots pine chronology from the northern part of Europe (forest-limit region) correlates with the summertime NAO index. The pine tree ring width from the southern part of Finland and Sweden corresponds with the wintertime NAO index (Lindholm et al. 2001). Cook reconstructed the December to March NAO index based on tree ring width records from North America and Europe (Cullen et al. 2001, Cook et al. 1998).