

KLIMATYCZNE UWARUNKOWANIA PRZYROSTU NA GRUBOŚĆ U LIMBY (*PINUS CEMBRA* L.) Z DOLINY MARTELLO W PARKU NARODOWYM STELVIO (WŁOCHY)

Wstęp i cel badań

Podstawowym procesem fizjologicznym wpływającym na wzrost i rozwój roślin jest fotosynteza. Jego efektem jest przyrost biomasy, która u drzew odkładana jest w pniach w formie rocznych słoików drewna. Wahania szerokości słoików zależą w głównej mierze od zmieniających się z roku na rok warunków pogodowych. U drzew ze strefy górnej granicy lasu, których przedstawicielem jest limba (*Pinus cembra* L.), podstawowym elementem meteorologicznym ograniczającym przyrost na grubość jest niska temperatura powietrza miesięcy letnich. Wysokie sumy opadów tych miesięcy, wpływając na obniżenie temperatury powietrza, zmniejszają szerokość przyrostów rocznych (Feliksik 1972; Bednarz 1976; Schweingruber et al. 1978; Schweingruber 1983; Bednarz 1996). Określony głównie przez warunki termiczne i opadowe miesięcy letnich, rytm zmian szerokości słoików rocznych limby może być komplikowany przez zjawisko suszy mrozowej. Polega ono na postępującej w okresie zimy utracie wody przez igliwie, przy równoczesnym braku możliwości uzupełniania jej strat z zamrażniętej gleby. Pod koniec zimy i wczesną wiosną zawartość wody w igłach spadać może poniżej poziomu letalnego (Tranquillini 1979; Sakai, Larcher 1987). W konsekwencji, u progu sezonu wegetacyjnego maleje nie tylko liczba igieł, lecz także ich sprawność fizjologiczna. Spodziewać się więc można wyraźnego związku szerokości słoików rocznych limby z warunkami pogodowymi schyłku zimy i początku wiosny. W przypadku utrzymującej się w tym okresie

silnej insolacji i towarzyszącej jej wysokiej temperatury powietrza powinny się formować słoje wąskie, natomiast przy niskiej ciepłocie, ograniczającej transpirację - słoje szerokie. Potwierdzenie słuszności takich przypuszczeń, sprowadzające się do odpowiedzi na pytanie, jak ścisły jest związek szerokości słojów rocznych limby z Doliny Martello w Parku Narodowym Stelvio z temperaturą powietrza lutego i marca, jest jednym z celów niniejszej pracy. Poza analizami dendroklimatycznymi zmierzano do opracowania sięgającej możliwie jak najdalej w głąb czasu bezwzględnie datowanej chronologii słojów rocznych limby, a także do uzyskania informacji o dynamice przyrostu na grubość u tego gatunku w ostatnich stuleciach.

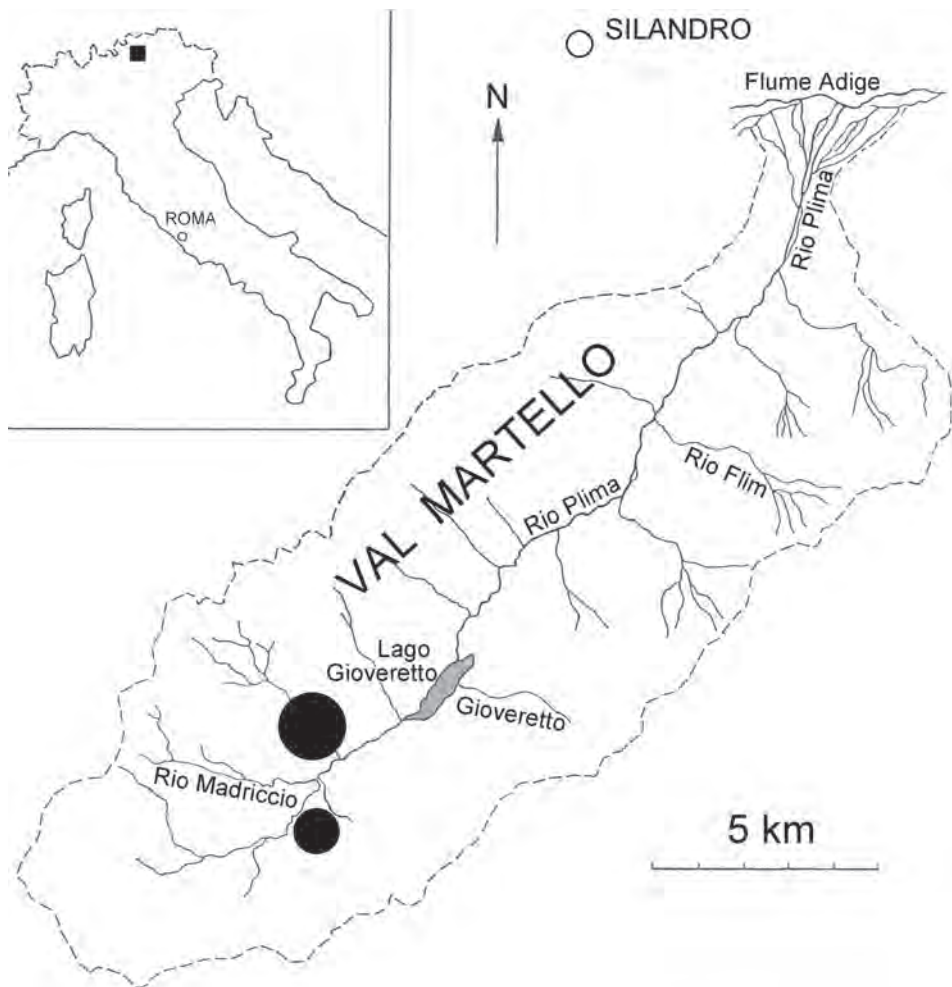
Teren badań

Limby wykorzystane do badań występują w górnej części Doliny Martello w Parku Narodowym Stelvio (ryc. 1, fot. 1). Jest to jeden z największych Parków Narodowych Włoch (1346 km²), położony w środkowej części Alp Retyckich (Alpy



Fot. 1. Limba (*Pinus cembra* L.) u górnej granicy drzew w Dolinie Martello (Park Narodowy Stelvio). (fot. J. Bodziarczyk)
 Phot. 1. Stone pine (*Pinus cembra* L.) at alpine timberline in Martello Valley (Stelvio National Park). (photo. J. Bodziarczyk)

Wschodnie) (Desio 1967). Obejmuje on wysokogórski, pokryty lodowcami i wiecznymi śniegami masyw Ortles (3905 m n.p.m.) i Cevedale (3769 m n.p.m.), pocięty głębokimi dolinami rzek, należących do dorzeczy Adygi, Addy i Oglio. Podłoże geologiczne w górnej części Doliny Martello stanowią fyllity kwarcowe i łupki chlorytowe z wkładkami marmuru. Badane limby występują w strefie górnej granicy lasu (2200-2250 m n.p.m.), głównie na stokach o ekspozycji południowo-wschodniej, w zespołach *Piceetum subalpinum cembretosum* i *Rhododendro-Vaccinietum cembretosum* (Pedrotti et al. 1974). Dolina Martello należy do obszarów ubogich w opady. Ich roczne sumy nie przekraczają na ogół 1000 mm, a w stacji meteorologicznej Silandro, położonej u wylotu Doliny, wynoszą zaledwie 468 mm. Zmusza to miejscowe rolnictwo do deszczowania łąk i upraw. Podstawowe informacje o warunkach termicznych i opadowych w stacji Silandro zawiera diagram klimatyczny, opracowany metodą Gaus-sena-Waltera (ryc. 2).

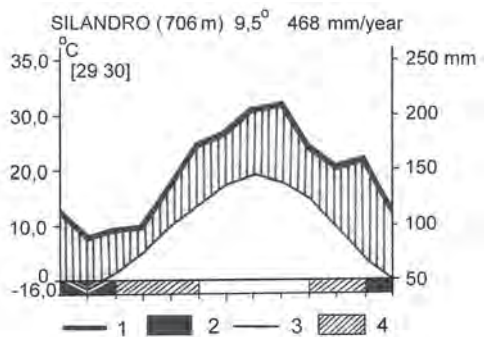


Ryc. 1. Usytuowanie limb (*Pinus cembra* L.) wykorzystanych do badań (czarne koła) w dorzeczu rzeki Plima w Parku Narodowym Stelvio (Dolina Martello)

Fig. 1. Location of the investigated stone pines (*Pinus cembra* L.) (black circles), within Plima river basin in the Stelvio National Park (Martello Valley)

Material i metody

Przeprowadzenie badań stało się możliwe dzięki współpracy Polskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk o Ziemi z Parkiem Narodowym Stelvio. Współpraca ta umożliwiła zorganizowanie latem 1995 r. wyprawy do Doliny Martello i pobranie materiału do badań. Materiał ten w formie wywierćw pobrano świadrem



Ryc. 2. Diagram klimatyczny dla Silandro zestawiony metodą Gausseina-Waltera; 1 – średnie miesięczne sumy opadów, 2 – okres o średnich dziennych temperaturach poniżej 0 °C, 3 – średnie miesięczne temperatury powietrza, 4 – okres o absolutnych minimalnych temperaturach powietrza poniżej 0°C

Fig. 2. Climatic diagram for Silandro compiled using Gausseina-Walter's method; 1 – mean monthly precipitation, 2 – period with mean diurnal temperatures below 0°C, 3 – monthly air temperatures, 4 – period with minimum air temperature below 0°C

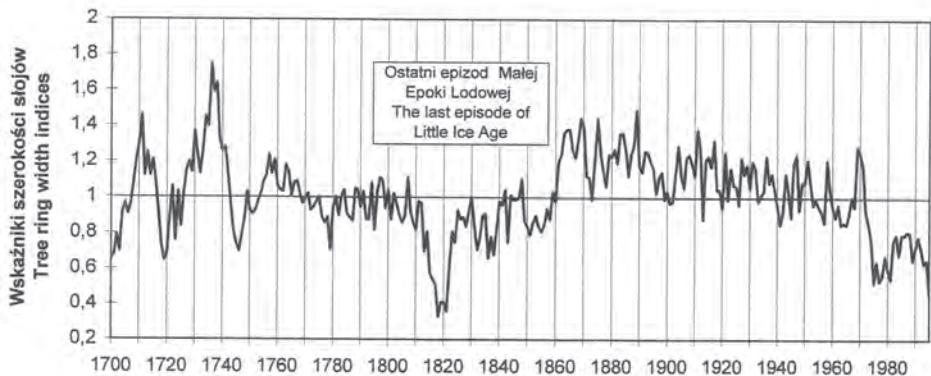
rokości słoju oraz autokorelację 1. 2. i 3. rzędu, określając związek szerokości słoju rocznych w danym roku z przyrostami trzech lat poprzednich (Fritts 1976). Bezwzględnie datowane chronologie poszczególnych drzew poddano standaryzacji celem wyeliminowania zjawiska trendu starczego, odmienności indywidualnych,

przyrostowym Presslera z 26 drzew. Wywierty pobierano na wysokości ok. 1,3 m nad powierzchnią gruntu, z dwóch przeciwległych stron pnia. Do badań wybierano limby najdorodniejsze, bez zewnętrznych uszkodzeń i oznak chorobowych. Szerokości słoju mierzono z dokładnością 0,01 mm. Bezwzględną chronologię słoju rocznych poszczególnych drzew i całej grupy opracowano przy wykorzystaniu standardowych metod dendrochronologicznych – wizualnego podobieństwa porównywanych ciągów, zgodności lat wskaźnikowych oraz określenia współczynników procentowego podobieństwa i korelacji (Schweingruber 1983). Chronologie poszczególnych drzew scharakteryzowano pod względem statystycznym, obliczając długość ciągów, średnią szerokość słoju, odchylenie standardowe, średnią czułość wyrażającą amplitudę sze-

Tab. 1. Współczynniki korelacji określające zależność standaryzowanych szerokości słoju rocznych limby (*Pinus cembra* L.) z Parku Narodowego Stelvio (Dolina Martello), od średnich temperatur powietrza (1928-1978) w Silandro; * poziom istotności $p = 0,05$

Tab. 1. Coefficients of correlation between ring width indices for stone pine (*Pinus cembra* L.) from the Stelvio National Park (Martello Valley), and mean air temperature (1926-1978) in Silandro; * significant at 0.05 confidence level

OKRES Period		Zima Winter	Wiosna Spring	Lato Summer	Jesień Autumn	Luty-Marzec February-March
Element klimatyczny Climatic factor		D-F	M-M	J-A	S-N	
Średnia temp. powietrza Mean air temperature	Korelacja Correlation	-0,15	-0,17	0,30*	0,00	-0,30*



Ryc. 3. Standaryzowana chronologia słoików rocznych limby (*Pinus cembra* L.) z Parku Narodowego Stelvio (Dolina Martello)

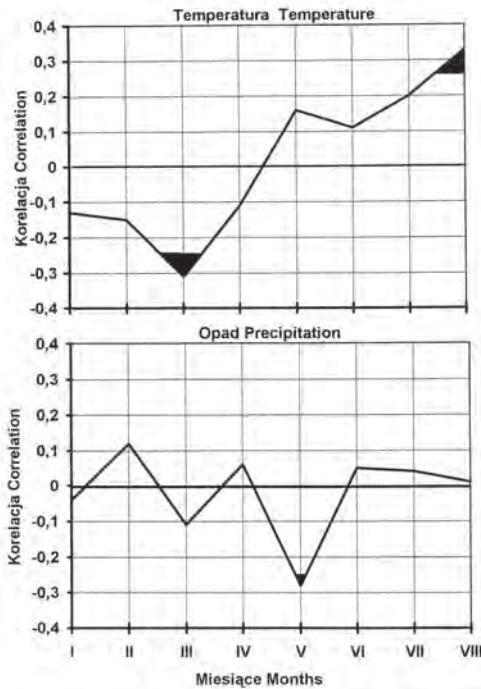
Fig. 3. Standardised tree-ring width chronology of stone pine (*Pinus cembra* L.) from the Stelvio National Park (Martello Valley)

wpływu różnic siedliskowych itp. W procesie standaryzacji wykorzystano funkcje wykładnicze: $Y(t) = a \text{EXP}(-bt) + k$ oraz funkcje liniowe o różnym nachyleniu (Fritts 1976). Standaryzowane ciągi przyrostowe poszczególnych limb posłużyły do obliczenia średniej chronologii dla całej grupy (ryc. 3). W badaniach nad zależnością standaryzowanych szerokości słoików rocznych limby od średnich miesięcznych temperatur powietrza i miesięcznych sum opadów wykorzystano powszechnie stosowane w dendroklimatologii współczynniki korelacji (Cropper 1982; Blasing et al. 1984; Fritts, Xiangding 1986). Zależności te określano dla poszczególnych miesięcy (I-VIII) oraz dla pór roku i okresu luty-marzec (ryc. 4, tab. 1).

Dane meteorologiczne wykorzystane do analiz dendroklimatycznych pochodziły ze stacji Silandro (706 m n.p.m.), położonej w odległości około 17 km w kierunku NNE od terenu badań (ryc. 1). Obejmują one średnie miesięczne temperatury powietrza i miesięczne sumy opadów w okresie 1926-1978.

Wyniki

Na podstawie analiz dendrochronologicznych 26 limb (*Pinus cembra* L.) z doliny Martello w Parku Narodowym Stelvio (Włochy) opracowano bezwzględnie datowaną chronologię słoików rocznych tego gatunku, obejmującą lata 1700-1995. Szerokości słoików rocznych przedstawiono w wartościach bezwzględnych (mm) i standaryzowanych. Wiek najstarszej limby wynosi 296 lat. Wiek rzeczywisty tego drzewa przekracza znacznie 300 lat, ponieważ słoje roczne zliczano na wywiertach pobranych z pnia na wysokości 1,30 m od powierzchni gruntu. Chronologie poszczególnych drzew wykazują daleko idące analogie przyrostowe. Podobieństwo chronologii opracowanych dla dwóch wywiertów pobranych z tego samego drzewa, określone współczynnikami podobieństwa (P) i korelacji (r), wynosi średnio $P=69,5\%$ i $r=0,81$.



Ryc. 4. Zależność standaryzowanych szerokości słoików rocznych limby (*Pinus cembra* L.) z Parku Narodowego Stelvio (Dolina Martello) od średnich miesięcznych temperatur powietrza (1926-1978) w Silandro, wyrażona współczynnikiem korelacji. Zaczernione powierzchnie oznaczają poziom istotności 0,05

Fig. 4. Relationship of mean ring-width indices in stone pine (*Pinus cembra* L.) from the Stelvio National Park (Martello Valley) with mean monthly air temperature (1926-1978) in Silandro, expressed by the coefficient of correlation. The black area indicates 0.05 significance level

Wysoki współczynnik korelacji występuje dla sierpnia ($r=0,33$). Stymulująco na przyrost grubości limby, w stopniu równie silnym jak wysoka ciepota powietrza miesięcy letnich, wpływają niskie temperatury marca ($r=-0,31$, $p=0,05$), a w mniejszym stopniu także lutego ($r=-0,15$). Oddziaływanie opadów na grubość pierścieni rocznych limby akcentuje się wyraźnie jedynie w przypadku maja. Wysokie sumy opadów tego miesiąca ograniczają przyrost na grubość ($r=-0,28$, $p=0,05$) (ryc. 4).

Równie wysokie są wartości tych współczynników przy porównaniu chronologii poszczególnych drzew ze średnią opracowaną dla grupy 26 limb. Wynoszą one $P=74\%$ i $r=0,64$. Zwracają uwagę wysokie wartości autokorelacji, określające związek szerokości słoja rocznego z przyrostem roku poprzedniego i kolejnych dwu lat wcześniejszych (autokorelacje 1. 2. 3. rzędu). Autokorelacje wynoszą odpowiednio $r=0,78$; $r=0,68$ i $r=0,60$.

Przebieg standaryzowanej chronologii słoików rocznych limby świadczy o istnieniu w pierwszej połowie XIX w. okresu głębokiej depresji przyrostowej, przypadającej na ochłodzenie tzw. ostatniego epizodu Małej Epoki Lodowej (*Little Ice Age*). Poczynając od dziesięciolecia 1860-1870, w którym przyrost limby powrócił do normy, szerokość słoików rocznych zaczęła systematycznie maleć. Po 1970 r. nastąpiło gwałtowne załamanie przyrostu, porównywalne z depresją pierwszej połowy XIX w. (ryc. 3).

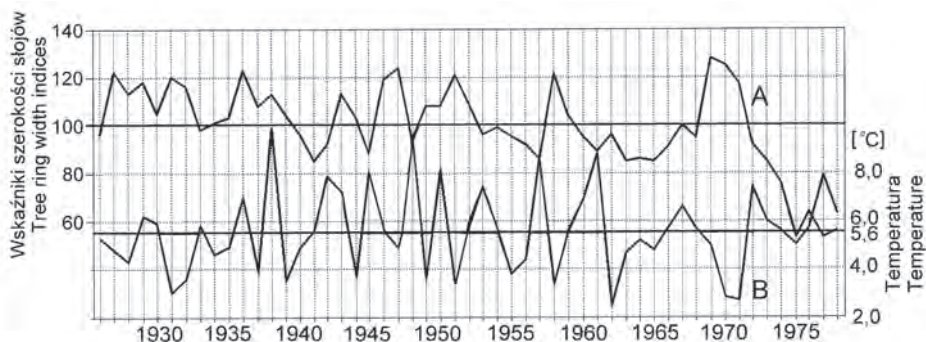
Analizy zależności przyrostu na grubość badanych limb od średnich miesięcznych temperatur powietrza (1926-1978) i miesięcznych sum opadów (1926-1978) wskazują, że szerokość słoików rocznych zależy od ciepłoty powietrza sezonu wegetacyjnego, zwłaszcza miesięcy letnich VI-VIII. Zależność tę określa współczynnik korelacji $r=0,30$ przy poziomie istotności $p=0,05$. Najwyższy

Dyskusja

W wyniku przeprowadzonych analiz dendrochronologicznych stwierdzono występowanie u limby z Doliny Martello dwu okresów głębokiego spadku przyrostu na grubość. Pierwszy z nich obejmuje lata 1800-1860, drugi natomiast pojawił się po 1970 r. Przyczyną depresji przyrostowej pierwszej połowy XIX w., która wystąpiła także u innych gatunków drzew w Europie, Azji i Ameryce Północnej, było ochłodzenie klimatu ostatniego epizodu *Little Ice Age* (Schweingruber 1983; Grove 1988; Jacoby, D'Arrigo 1989; Luckman 1992; Sweda 1992). Ochłodzeniu temu towarzyszyła ekspansja lodowców alpejskich, której świadectwem w Dolinie Martello jest datowany na ten okres wał morenowy, położony na wysokości 2350 m n.p.m.. W zawieszonej około 240 m nad Doliną Martello Dolinie Madriccio lodowiec wytopił się dopiero po 1935 r. (Desio 1967; Krzemień 1991; Rączkowski, Rączkowska 1993). Stwierdzone po 1970 r. drastyczne załamanie przyrostu u limby z Doliny Martello zostało odnotowane także w strefie górnej granicy lasu na Patscherkofel w Alpach Austriackich (Oberhuber 2004). Próba odpowiedzi na pytanie, jaka była przyczyna postępującego spadku przyrostu u limby z Doliny Martello na przestrzeni ostatnich blisko 150 lat i jego drastycznego załamania po 1970 r., napotyka na poważne trudności, ponieważ, obok czynników o charakterze naturalnym, na procesy wzrostu i rozwoju drzew wpływać mogą w silnym stopniu oddziaływania o charakterze antropogenicznym. Niewykluczone, że limby z Doliny Martello reagują spadkiem przyrostu na postępujące ocieplenie klimatu (Körner 1995; Jones et al. 1999), w konsekwencji którego powierzchnia lodowców alpejskich i ich masa zmniejszyła się w ciągu ostatnich 150 lat o blisko 50% (Haeberli 1995). Tak gwałtowne wytapianie się lodowców nie mogło pozostać bez wpływu na środowisko przyrodnicze Alp, w tym zwłaszcza tych ich części, które, jak Dolina Martello, należą do najuboższych w opady. Niewykluczone jednak, że wchodzi tu w rachubę także oddziaływania o innym charakterze, w tym zwłaszcza dopływ do ekosystemów leśnych Alp różnego rodzaju zanieczyszczeń. Poczynając od XIX w. ich ilość ciągle rosła, a po II wojnie światowej przekroczyła w wielu przypadkach wartości krytyczne dla prawidłowego funkcjonowania zbiorowisk leśnych (Körner 1995; Rihm 1996; Kalina et al. 1998).

Wysokie sumy opadów miesięcy letnich, wpływając na obniżenie temperatury powietrza ograniczają szerokość słoju rocznych limby i innych gatunków drzew ze strefy górnej granicy lasu (Feliksik 1972; Bednarz 1976; Eckstein, Aniol 1981; Bednarz 1996). U limby z Doliny Martello zależność ta nie występuje, ponieważ opady w tym regionie są bardzo skąpe. Ich roczne sumy nie przekraczają 900-1000 mm (Pedrotti et al. 1974). Ograniczający wpływ wysokich sum opadów na szerokość słoju rocznych limby zaznacza się w Dolinie Martello jedynie w maju. Potrzeby wilgotnościowe limby zaspokajane są wtedy przez wody roztopowe. Natomiast obfite opady tego miesiąca, wpływając na pogorszenie warunków termicznych, hamują tempo procesów fizjologicznych na początku sezonu wegetacyjnego.

Jak wykazano w niniejszych badaniach, stymulująco na przyrost limby na grubość w stopniu równie silnym jak wysoka ciepłota powietrza miesiące letnich wpływają niskie temperatury końca zimy i początku wiosny (luty, marzec). Wysoka ciepłota powietrza tego okresu ogranicza szerokość rocznych pierścieni drewna. Jest to niewątpliwie związane ze zjawiskiem suszy mrozowej. Najczęstszą konsekwencją tego zjawiska jest silne osłabienie sprawności fizjologicznej drzew, w tym także spadek aktywności miazgi. Nieprzypadkowo więc u limb z Doliny Martello związek szerokości słoików rocznych z temperaturą powietrza marca, a w mniejszym stopniu także lutego, zaznacza się tak wyraźnie. W latach o niskiej ciepłocie powietrza tych miesięcy wykształcają się słoje szerokie (np. w latach 1931, 1944, 1947, 1951, 1958, 1970, 1971), a przy wysokiej – znacznie węższe (np. 1948, 1958, 1961) (ryc. 5). Wysoka temperatura lutego i marca, potęgując utratę wody przez igliwie, doprowadza do spadku zawartości chlorofilu, brązowienia igieł i wcześniejszego ich opadania (Tranquillini 1979, 1982; Sakai, Larcher 1987). Susza mrozowa jest szczególnie groźna dla drzew rosnących przy górnej granicy lasu, takich jak limba (*Pinus cembra* L.), świerk (*Picea abies* (L.) Karst.) i kosodrzewina (*Pinus mugo* v. *mughus* Zenari), u których pod koniec zimy i wczesną wiosną, na skutek intensywnego promieniowania słonecznego, temperatura igliwia w nasłonecznionych partiach koron sięgać może nawet 20°C. Konsekwencją nagrzewania się igliwia oraz niskiej prężności pary wodnej w powietrzu jest utrata dużych ilości wody w procesach transpiracji i parowania kutikularnego. Procesy te są szczególnie intensywne u drzew rosnących na stokach południowych i przy dużej prędkości wiatru. Pojawianiu się suszy mrozowej sprzyjają mroźne i ubogie w opady śniegu zimy. Gleba przemarza wtedy



Ryc. 5. Porównanie standaryzowanej chronologii słoików rocznych limby (*Pinus cembra* L.) z Parku Narodowego Stelvio (Dolina Martello) – A, z średnią temperaturą powietrza marca w Silandro – B

Fig. 5. Comparison of the standardised tree-ring width chronology of stone pine (*Pinus cembra* L.) from the Stelvio National Park (Martello Valley marked as A), with mean air temperature in March in Silandro (B)

do znacznej głębokości (Aulitzky 1961). Nagrzewanie się igliwia doprowadza do wzrostu ciśnienia osmotycznego aż do osiągnięcia wartości krytycznych, powodujących rozpad chlorofilu. Dodatkowym czynnikiem przyczyniającym się do osłabienia drzew jest utrata asymilatów, zużywanych w procesach intensywnego przy wysokiej temperaturze oddychania (Wiesser 1997). W skrajnych przypadkach, na skutek suszy mrozowej, drzewa mogą ulegać częściowemu, a nawet całkowitemu obumarciu (Tranquillini 1979, 1982; Sakai, Larcher 1987).

Przeprowadzone analizy dendroklimatyczne potwierdzają w pełni słuszność ekofizjologicznej teorii Tranquilliniego (1979, 1980), według której susza mrozowa jest jednym z głównych czynników ograniczających występowanie drzew w strefie górnej i polarnej granicy lasu. Od skutków suszy mrozowej nie są wolne także gatunki występujące na niżu, takie jak: jałowiec (*Juniperus communis* L.) i sosna (*Pinus sylvestris* L.). Ta ostatnia, w 1996 r., na skutek bardzo mroźnej i skąpej w opady śniegu zimy, po której nastąpiła ciepła wiosna, ucierpiała w Polsce z powodu suszy mrozowej na obszarze wielu tysięcy hektarów (Grzywacz 1996).

Podsumowanie i wnioski

1. Na podstawie analiz dendrochronologicznych 26 limb (*Pinus cembra* L.) z Doliny Martello w Parku Narodowym Stelvio (północne Włochy) opracowano bezwzględnie datowaną chronologię słoików rocznych tego gatunku, obejmującą lata 1700-1995.
2. Przebieg standaryzowanej chronologii słoików rocznych limby świadczy o istnieniu w badanym okresie czasu dwu okresów głębokiego spadku przyrostu na grubość. Pierwszy z nich, przypadający na ochłodzenie tzw. ostatniego epizodu Małej Epoki Lodowej, obejmuje lata 1800-1850. Poczynając od dziesięciolecia 1860-1870, w którym przyrost powrócił do normy, szerokość słoików rocznych zaczęła systematycznie maleć. Po 1970 r. nastąpiło gwałtowne załamanie przyrostu, związane prawdopodobnie z oddziaływaniem przemysłowych zanieczyszczeń powietrza.
3. Stymulująco na szerokość rocznych pierścieni limby oddziałuje wysoka temperatura powietrza miesięcy letnich oraz niska temperatura marca, a w mniejszym stopniu także lutego. Pozostaje to w związku ze zjawiskiem suszy mrozowej. Wyniki przeprowadzonych analiz dendroklimatycznych potwierdzają w pełni słuszność poglądów o silnym wpływie tego zjawiska na procesy wzrostu i rozwoju drzew ze strefy górnej granicy lasu w Alpach.

Materiał do badań został pobrany przez dr inż. J. Bodziarczyka podczas wyprawy Krakowskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk o Ziemi. Autor dziękuje również Prof. E. Coronie z Włoch za dane meteorologiczne ze stacji Silandro.

LITERATURA

- Aulitzky H., 1961, *Die Bodentemperaturen in der Kampfzone oberhalb der Waldgrenze und im subalpinen Zirben-Lärchenwald*. Mitteilungen der Forstliche Bundes-Versuchsanstalt, Mariabrun, Heft 59, 155-208.
- Bednarz Z., 1976, *Wpływ klimatu na zmienność szerokości słoju rocznych limby (Pinus cembra L.) w Tatrach*, Acta Agraria et Silvestria, ser. Silvestris, 16, 17-34.
- Bednarz Z., 1996, *June-July Temperature Variation for the Babia Góra National Park, Southern Poland, for the Period 1650-1910*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 102, 523-529.
- Blasing T.J., Solomon A.M., Duvick D.N., 1984, *Response Functions Revisited*, Tree-Ring Bulletin, 44, 1-15.
- Cropper J.P., 1982, *Response functions*, [in:] M.K. Hughes, P.M. Kelly, J.R. Pilcher, V.C. LaMarche (ed.), *Climate from Tree Rings*, Cambridge University Press, Cambridge, 47-50.
- Desio A., 1967, *I ghiacciai del Gruppo Ortles-Cevedale (Alpi Centrali)*, Torino, Comitato Glaciologico Italiano, ss. 874.
- Eckstein D., Aniol R.W., 1981, *Dendroclimatological Reconstruction of the Summer Temperatures for an Alpine Rregion*, Mittailungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 142, 391-398.
- Feliksik E., 1972, *Studia dendroklimatologiczne nad świerkiem (Picea excelsa L.)*, cz. 1, 2., Acta Agraria et Silvestria, ser. Silvestris, 12, 39-83.
- Fritts H.C., 1976, *Tree Rings and Climate*, Academic Press, ss. 567.
- Fritts H.C., Xiangding W., 1986, *A Comparison between Response Function Analysis and Other Regression Techniques*, Tree-Ring Bulletin, 46, 31-46.
- Grove J.M., 1988, *The Little Ice Age*, Methuen, London, ss. 498.
- Grzywacz A., 1996, *Zamieranie pędów sosny. Notatka z lustracji terenowej drzewostanów sosnowych objętych epifitozą zamierania pędów oraz narady w tej sprawie przedstawicieli RDLP i ZOL w Mogroninie w dniach 3-5 września 1996 r.*, Biuletyn Informacyjny Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych, 10, 14-15.
- Haeberli W., 1995, *Climate Change Impact on Glaciers and Permafrost*, [in:] A. Guisan, J.L. Holten, R. Spichiger, L. Tessier (ed.), *Potential Ecological Impacts of Climate Change in the Alps and Fennoscandian Mountains*, The IPCC Second Assessment Report, Working Group II-C, Genève, 97-103.
- Jacoby G.C., D'Arrigo R., 1989, *Reconstructed Northern Hemisphere Annual Temperature Since 1671 Based on High-Latitude Tree-Ring Data from North America*, Climatic Change, 14, 39-59.
- Jones P.D., New M., Parker D.E., Martin S., Rigor I.G., 1999, *Surface Air Temperature and Its Changes Over the Past 150 Years*, Reviews of Geophysics. 37, 173-199.
- Kalina M.F., Zambo E., Puxbaum H., 1998, *Cloud Water Chemistry and Impact on Total Deposition of Sulfur and Nitrogen at Different Elevational Levels in an Alpine Valley (Achenkirch, 930-1758 m a.s.l., Tyrol, Austria)*, Proceedings 1st International Conference on fog and fog collection, Vancouver, Canada, July 19-24 1998, [in:] R.S. Schemenauer, H. Bridgman (ed.), International Development Centre (IDRC), Ottawa, Canada, 57-60.

- Körner Ch., 1995, *Impact of Atmospheric Changes on Alpine Vegetation: the Ecophysiological Perspective*, [in:] A. Guisan, J.L. Holten, R. Spichiger, L. Tessier (ed.), *Potential Ecological Impacts of Climate Change in the Alps and Fennoscandian Mountains*, The IPCC Second Assessment Report, Working Group II-C, Genève, 113-120.
- Krzemień K., 1991, *Struktura i dynamika koryt potoków Plima i Madriccio w masywie Ortles-Cevedale (Alpy Włoskie)*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 63, 7-30.
- Luckman B.H., 1992, *Glacier and Dendrochronological Records for the Little Ice Age in the Canadian Rocky Mountains*, [in:] T. Mikami (ed.), *Proceedings of the International Symposium on the Little Ice Age Climate*, Department of Geography, Tokyo Metropolitan University, 75-80.
- Oberhuber W., 2004, *Influence of Climate on Radial Growth of Pinus cembra within the Alpine Timberline Ecotone*, *Tree Physiology*, Heron Publishing-Victoria, Canada, 24, 291-301.
- Pedrotti F., Orsomondo E., Pedrotti C.C., 1974, *Carta della vegetazione del parco nazionale dello Stelvio*, Bormio, Edizione dell' Amministrazione del Parco Nazionale dello Stelvio, ss. 87.
- Rączkowski W., Rączkowska Z., 1993, *Rzeźba glacjalna doliny Martello (masyw Ortler-Cevedale, Alpy włoskie)*, *Folia Geographica*, series *Geographica Physica*, 24-25.
- Rihm B., 1996, *Critical Loads of Nitrogen and Their Exceedances, Eutrophying Atmospheric Deposition*, Environmental Series 275, Federal Office of Environment, Forests and Landscape (FOEFL), Berne, ss. 74.
- Sakai A., Larcher W., 1987, *Frost Survival of Plants*, *Ecological Studies*, 62, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, ss. 321.
- Schweingruber F.H., 1983, *Der Jahrring*, Verlag Paul Haupt, Bern und Stuttgart, ss. 234.
- Schweingruber F.H., Fritts H.C., Braker O.U., Drew L., Schar E., 1978, *The X-ray Technique as Applied to Dendrochronology*, *Tree-Ring Bulletin*, 38, 61-91.
- Sweda T., 1992, *Little Ice Age Climate of Central Japan as Revealed by Dendroclimatological Reconstruction*, [in:] T. Mikami (ed.), *Proceedings of the International Symposium on the Little Ice Age Climate*, Department of Geography, Tokyo Metropolitan University, 34-39.
- Tranquillini W., 1979, *Physiological Ecology of the Alpine Timberline*, *Ecological Studies*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 31, ss. 137.
- Tranquillini W., 1980, *Winter Desiccation as the Cause for Alpine Timberline*, [in:] U. Benecke, M.R. Davis (ed.), *Mountain Environments and Subalpine Tree Growth*, *Proceedings IUFRO Workshop 1979*, Christchurch, New Zealand Forest Service Technical Papers, 70, 263-267.
- Tranquillini W., 1982, *Frost Drought and Its Ecological Significance*, [in:] O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, H. Ziegler (ed.), *Encyclopedia of Plant Physiology*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 12 B, 379-400.
- Wiesser G., 1997, *Carbon Dioxide Gas Exchange of Cembran Pine (Pinus cembra) at the Alpine Timberline during Winter*, *Tree Physiology*, 17, 473-477.

THE INFLUENCE OF CLIMATIC CONDITIONS ON TREE RING WIDTHS
OF STONE PINE (*PINUS CEMBRA* L.) FROM THE MARTELLO VALLEY
IN THE STELVIO NATIONAL PARK (ITALY)

SUMMARY

On the basis of the analysis of 26 stone pines (*Pinus cembra* L.) from the Martello Valley in the Stelvio National Park (northern Italy), a master chronology was prepared spanning 295 years (1700-1995). The chronology of stone pine shows two periods of growth depressions. The first and the longest depression occurred in the years 1800-1860. This growth reduction was associated with the last episode of the Little Ice Age. Slow growth occurred continuously from 1870 to 1970. Since 1970 it was followed by a deep growth decline, probably caused by the influence of air pollution. Analysis of the relationship between ring-width indices of stone pines with mean monthly air temperatures (1926-1978) in Silandro revealed a strict relationship between radial growth and May-August temperatures ($r=0.30$, $p=0.05$). The stone pine ring-width data showed also highly significant relationship with February and March temperatures, but this relationship has a negative character; $r=-0.15$ and $r=-0.30$ at $p=0.05$, respectively. The strong negative growth response of stone pine to February-March temperature ($r=-0.30$, $p=0.05$) is caused by frost desiccation.

Translated by Author