

Zdzisław Bednarz

Katedra Botaniki Leśnej i Ochrony Przyrody
Akademia Rolnicza w Krakowie

Tadeusz Niedźwiedź

Katedra Klimatologii
Uniwersytet Śląski

DENDROCHRONOLOGIA ŚWIERKA (*PICEA ABIES* (L.) KARST.) Z PARKU NARODOWEGO WYSOKIE TAURY (AUSTRIA)

Wstęp i cel badań

Wzrost temperatury powietrza atmosfery ziemskiej oraz towarzyszące temu procesowi ekstremalne zjawiska pogodowe (powodzie, susze, huragany, sztormy itp.) należą do najbardziej zauważalnych symptomów zachodzących zmian klimatycznych (Obrębska-Starkel, Starkel 1991). Dla zrozumienia ich przyczyn oraz opracowania metod prognozowania nieodzowne są długotrwałe ciągi instrumentalnych obserwacji meteorologicznych. Niestety, nawet najdłużej funkcjonujące stacje pomiarowe dysponują danymi obejmującymi zaledwie ostatnie stulecie (Trepieńska 1997). W tej sytuacji klimatologia historyczna sięga do pośrednich metod analizy klimatu określanymi mianem *proxy data* (Bradley, Jones 1992; Briffa 1995; Obrębska-Starkel 2000a, 2000b). Wśród nich poczesne miejsce zajmuje dendroklimatologia. Źródłem informacji o wahaniami klimatycznych w przeszłości są dla niej bezwzględnie datowane chronologie słoju rocznych drzew (Fritts 1976; Schweingruber 1983; Zielski, Krąpiec 2004). Szerokość słoju kształtuje się pod przemożnym wpływem zmiennych z roku na rok warunków pogodowych. Dotyczy to zwłaszcza drzew wyrosłych w warunkach naturalnych, w których obraz zależności ich przyrostu na grubość od klimatu nie zaciemniają oddziaływania

o charakterze antropogenicznym, np. wycinka drzew, melioracje, wypas zwierząt, pozyskiwanie ścioly, zanieczyszczenia powietrza i gleby itp. Jeśli na dodatek w analizach dendroklimatycznych sięgniemy do drzew rosnących na siedliskach skrajnych, np. w strefie górnej granicy lasu (Bednarz 1976), wtedy, zgodnie z prawem minimum Liebiga-Blackmana, szerokość słoju rocznych zależeć będzie w głównej mierze od temperatury powietrza krótkiego okresu wegetacji (Muter, Bednarz 2003). Zależność ta u drzew wysokich położen górskich akcentuje się szczególnie wyraźnie z tego jeszcze względu, że lata nasienne, pojawy pasożytniczych grzybów, a także gradacje szkodliwych owadów, zakłócające korelację przyrost – klimat, występują znacznie rzadziej (Tranquillini 1979). Nieprzypadkowo więc do najbardziej przydatnych dla dendroklimatologii drzew Europy należy świerk z położen wysokogórskich (Feliksik 1972; Schweingruber 1983; Bednarz 1996; Bednarz i in. 1998/99). Przekraczać on może wiek kilkuset lat (Hofgaard 1993; Szychowska-Krąpiec 1998), co pozwala opracować sięgające daleko w przeszłość bezwzględnie datowane chronologie rocznych przyrostów drewna.

Celem niniejszych badań było opracowanie takich chronologii dla świerka z rezerwatu Rauriser Urwald w Parku Narodowym Wysokie Taury (Alpy Austriackie), określenie zależności szerokości słoju rocznych od średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza oraz miesięcznych sum usłonecznienia i opadów, a także uzyskanie informacji na temat klimatycznych i pozaklimatycznych uwarunkowań dynamiki przyrostu na grubość u tego gatunku w ostatnich stuleciach.

Teren badań

Badaniami objęto świerki rosnące w rezerwacie Rauriser Urwald o powierzchni 94 ha, położonym w Parku Narodowym Wysokie Taury w Alpach Austriackich (ryc. 1). Teren ten leży 18 km na południe od miejscowości Rauris i około 90 km na południe od Salzburga. Jest to największy park narodowy w krajach alpejskich. Jego powierzchnia wynosi 116 000 ha, a najwyższy szczyt Grossglockner sięga wysokości 3798 m n.p.m. (Wirth 1979). Dużo niższy Sonnblick (3106 m n.p.m.) znany jest z wysokogórskiego Obserwatorium Meteorologicznego (47° 03'N, 12° 57'E), pracującego nieprzerwanie od końca XIX w. Stacja ta, wchodząca do sieci stacji synoptycznych WMO o numerze 11146, znajduje się w odległości zaledwie 3 km na WSW od miejsca poboru prób.

W górnej części doliny Rauris koło Kolm-Saigurn u stóp Sonnblicka, na wysokości 1700-1900 m n.p.m., zachował się unikatowy fragment praboru świerkowego, reprezentującego zespół *Piceetum subalpinum* (Stüber 1988). Jest to alpejski odpowiednik karpacciego górnoreglowego boru świerkowego *Plagiothecio-Piceetum*. Warstwę drzew tego imponującego drzewostanu, nieprzypadkowo nazwanego Rauriser Urwald, tworzą potężne świerki, których wiek przekracza 400 lat. Drzewostan w wielu miejscach jest trudno dostępny, wykształcił się bowiem na zasłanej blokami skalnymi morenie lodowcowej, poprzecinanej potokami i usianej oczkami wodnymi, z których część zarasta roślinnością torfowiskową. Ze zwietrzliny, łupków, gnejsów i kwarcytów wytworzyły się silnie

uwilgotnione kwaśne gleby bielicowe i bielice. Występują też płyty torfów sfagnowych o miąższości do kilkudziesięciu centymetrów (Stüber 1988).

Nachylenie terenu, o generalnej ekspozycji WSW-W, jest urozmaicone. Obok zatorfionych spłaszczeń występują gładowiska o nachyleniu od około 24° do 34°. Górna granica lasu w miejscu badań przebiega na wysokości od 1800 do 1930 m n.p.m. (210-340 m nad dnem doliny). Klimat Wysokich Taurów wykazuje cechy charakterystyczne dla obszarów górskich umiarkowanej strefy klimatycznej w jej europejsko-alpejskiej odmianie. Najważniejszą właściwością tego klimatu jest zdecydowana dominacja mas powietrza atlantyckiego nad masami innych pochodzeń (Auer, Böhm, Mohnl 1993; Auer, Böhm, Schöner 2001; Trepińska 2002). Konsekwencje tego faktu dla drzew rosnących w Rauriser Urwald są bardzo istotne, ponieważ warunki termiczne miesięcy letnich, decydujące o aktywności miazgi, kształtują się w silnym stopniu pod wpływem występujących w czerwcu-lipcu obfitych opadów, przynoszonych z Atlantyku. Podstawowe informacje o warunkach termicznych i opadowych ze stacji Sonnblick przedstawiono na diagramie klimatycznym (ryc. 2).

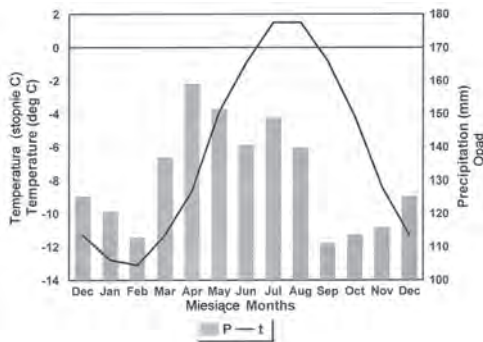


Ryc. 1. Położenie obszaru badań: a - granica Parku Narodowego Wysokie Taury, b - drogi, c - bór świerkowy „Urwald”, z którego pobierano wywierty

Fig. 1. Location of the study area: a - boundary of the High Tauern National Park, b - roads, c - the „Urwald” Norway spruce forest, from which increment cores were collected

Materiał i metody

Przeprowadzenie badań dendrochronologicznych nad świerkiem z rezerwału Rauriser Urwald stało się możliwe dzięki stażowi naukowemu odbywanemu w Uniwersytecie Wiedeńskim i Centralnym Instytucie Meteorologii i Geodynamiki w Wiedniu. Materiał pozyskano świdrem przyrostowym Presslera w pobliżu



Ryc. 2. Diagram klimatyczny dla Sonnblick (3106 m n.p.m.): P - miesięczne sumy opadów (1891-1990), t - średnie miesięczne temperatury powietrza (1887-1995)

Fig. 2. Climatic diagram for Sonnblick (3106 m a. s. l.): P - monthly precipitations (1891-1990), t - monthly average temperatures (1887-1995)

wizualnego podobieństwa krzywych przyrostowych, zgodności lat wskaźnikowych oraz obliczania współczynników zbieżności i korelacji (Cropper 1982; Schweingruber 1983; Blasing i in. 1984; Fritts, Xiangding 1986). Bez względu na datowane chronologie słoży rocznych świerków scharakteryzowano pod względem statystycznym (tab. 3), wykorzystując pakiet programów TREE 05-5 (Bednarz, Ptak 1977). Dla wyeliminowania z chronologii długookresowych fluktuacji przyrostowych, wynikających w głównej mierze ze zjawiska trendu starczego, a także odmienności siedliskowych, zmienności indywidualnej itp., ciągi pierścieni rocznych poszczególnych świerków poddano standaryzacji. Dzięki temu zabiegowi szerokie słoże młodocianego okresu życia drzew zostały tendencyjnie pomniejszone, natomiast wąskie słoże wieku dojrzałego i starczego powiększone. 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 świerków posłużyły do opracowania średniej chronologii dla grupy 39 drzew (tab. 2, ryc. 3). Chronologię tę wykorzystano w analizach dendroklimatycznych.

Dla określenia zależności standaryzowanych szerokości słoży rocznych drzew od średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza oraz miesięcznych sum usłonecznienia i opadów wykorzystano współczynniki korelacji liniowej i podobieństwa (Bednarz, Ptak 1977). Analizowane zależności rozpatrywano dla okresu od stycznia roku poprzedzającego formowanie się słoży do sierpnia sezonu wegetacyjnego, w którym słoże powstawały. Analogiczne obliczenia wykonano dla poszczególnych pór roku oraz okresu czerwiec-lipiec. W tych dwu

górnjej granicy lasu, na wysokości około 1700-1800 m n.p.m. Wybierano drzewa dominujące, o najlepszej kondycji, bez widocznych uszkodzeń ze strony czynników biotycznych i abiotycznych. Próby pobrano z 39 świerków na wysokości ok. 1,3 m nad powierzchnią gruntu, z dwu przeciwległych stron pnia.

Szerokość pierścieni rocznych poszczególnych drzew mierząco, z dokładnością do 0,01 mm i przedstawiono w wartościach bezwzględnych (tab. 1) oraz standaryzowanych (tab. 2). Chronologie słoży poddano weryfikacji celem usunięcia ewentualnych błędów pomiarowych i anomalii przyrostowych. Posłużono się w tym celu powszechnie stosowanymi w dendrochronologii metodami

Tab. 1. Średnie szerokości stajów rocznych świerka (dokładność 0,01 mm) z Parku Narodowego Wysokie Taury (Rauriser Urwald)

Tab. 1. Mean tree-ring widths of Norway spruce (0.01 mm accuracy) from High Tauern National Park (Rauriser Urwald)

Rok/Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1550			1,09	0,91	0,87	0,93	0,83	0,70	0,93	0,77
1560	0,93	1,22	1,06	0,93	0,98	0,99	1,04	1,04	1,32	0,98
1570	1,13	1,14	1,04	0,72	0,91	0,95	0,84	0,84	0,75	0,99
1580	0,91	0,98	0,83	0,84	0,47	0,92	0,90	0,48	0,90	0,93
1590	0,85	0,91	0,80	0,98	0,98	1,02	0,97	1,21	1,40	1,05
1600	0,80	0,81	0,70	0,79	0,88	0,87	0,83	0,78	0,75	0,82
1610	0,79	0,90	0,72	0,83	0,83	0,79	0,74	0,70	0,83	0,80
1620	0,99	0,71	1,34	1,18	1,08	0,77	0,95	1,43	0,90	1,16
1630	0,80	0,91	0,70	0,90	0,78	0,83	0,88	0,99	0,74	0,80
1640	0,84	0,87	0,79	0,93	0,98	0,87	0,89	0,73	0,78	0,77
1650	0,74	0,84	0,71	0,72	0,70	0,78	0,71	0,88	0,70	0,79
1660	0,72	0,88	0,83	0,84	0,93	1,02	1,00	0,84	0,80	0,83
1670	0,71	0,78	0,70	0,88	0,70	0,89	1,00	0,80	1,05	0,80
1680	1,00	1,10	1,10	1,07	0,90	0,78	1,12	1,08	0,93	0,87
1690	0,70	0,70	0,72	0,88	0,82	0,72	0,73	0,80	0,80	0,79
1700	0,97	1,19	1,17	1,11	1,00	0,80	0,92	0,85	0,97	1,00
1710	1,00	1,11	1,19	0,90	1,00	0,98	0,88	0,95	0,98	0,97
1720	1,05	0,93	1,07	0,90	1,10	0,95	1,28	1,04	1,30	1,28
1730	1,09	1,10	1,00	1,03	1,15	1,09	1,24	1,29	1,37	1,43
1740	1,08	0,87	0,93	0,92	1,02	1,13	1,12	0,95	1,06	1,05
1750	1,03	1,12	1,10	1,24	1,33	1,05	1,12	1,18	1,07	1,24
1760	1,20	1,23	0,90	1,11	1,05	1,00	0,99	1,02	1,02	1,02
1770	1,05	1,08	1,00	0,99	1,14	1,13	1,07	1,05	1,23	0,92
1780	1,11	1,27	1,04	1,27	1,47	1,27	1,18	1,27	1,28	1,17
1790	1,23	1,20	1,14	1,12	1,19	0,91	1,02	0,99	1,14	1,02
1800	1,15	1,21	1,20	0,93	1,04	0,97	1,06	1,40	1,21	1,04
1810	1,08	1,24	0,91	0,74	0,90	0,79	0,82	1,12	0,97	1,04
1820	0,97	0,75	1,27	1,17	1,21	1,04	1,03	1,06	1,24	1,30
1830	1,21	1,07	0,93	1,05	1,30	1,16	1,13	0,89	0,93	1,09
1840	1,00	1,11	1,36	0,90	1,16	1,27	1,02	1,28	1,30	1,22
1850	1,18	1,04	1,20	1,16	1,05	1,17	1,03	1,02	0,92	1,05
1860	0,82	0,99	0,79	0,98	0,83	0,94	1,07	1,05	1,04	1,00
1870	1,20	1,03	0,80	1,10	1,20	1,37	1,14	1,19	1,00	1,03
1880	1,13	1,21	1,19	1,18	1,07	1,03	0,93	1,08	1,03	1,30
1890	0,96	0,98	1,08	1,08	1,16	1,27	1,12	1,22	0,91	0,97
1900	1,05	1,00	1,00	1,03	1,30	1,03	0,82	0,82	1,11	0,79
1910	0,98	1,17	1,03	0,72	0,90	0,95	0,96	1,21	0,84	1,01
1920	0,90	1,18	1,13	1,15	1,12	1,11	0,90	1,04	1,18	0,90
1930	0,97	1,17	1,00	0,78	0,77	1,00	0,95	1,00	1,00	1,04
1940	1,08	1,17	0,94	0,94	0,97	1,04	1,07	1,19	0,73	1,01

Rok Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1630	107	94	84	90	110	100	102	81	85	100	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
1640	91	102	124	87	100	110	140	114	118	112	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
1650	100	95	110	109	90	108	90	94	85	97	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
1660	77	92	73	90	82	88	100	99	97	90	38	38	38	38	38	38	38	38	39	39
1670	111	90	80	108	118	128	105	112	98	90	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
1680	106	117	113	112	102	101	79	104	99	121	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
1690	90	92	103	102	109	120	105	117	85	92	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
1900	100	94	94	98	127	104	79	80	108	70	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
1910	90	113	100	73	90	95	90	119	80	99	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
1920	88	117	113	119	112	111	80	100	118	94	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
1930	97	118	107	79	79	103	97	102	103	100	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
1940	108	119	97	90	100	108	110	122	70	107	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
1950	115	114	128	120	99	117	100	100	110	105	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
1960	87	98	91	98	90	87	105	109	107	109	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
1970	102	80	79	80	80	83	94	107	89	100	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
1980	89	90	129	137	90	118	114	108	102	93	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
1990	94	91	88	108	120	89					39	39	39	39	39	39				

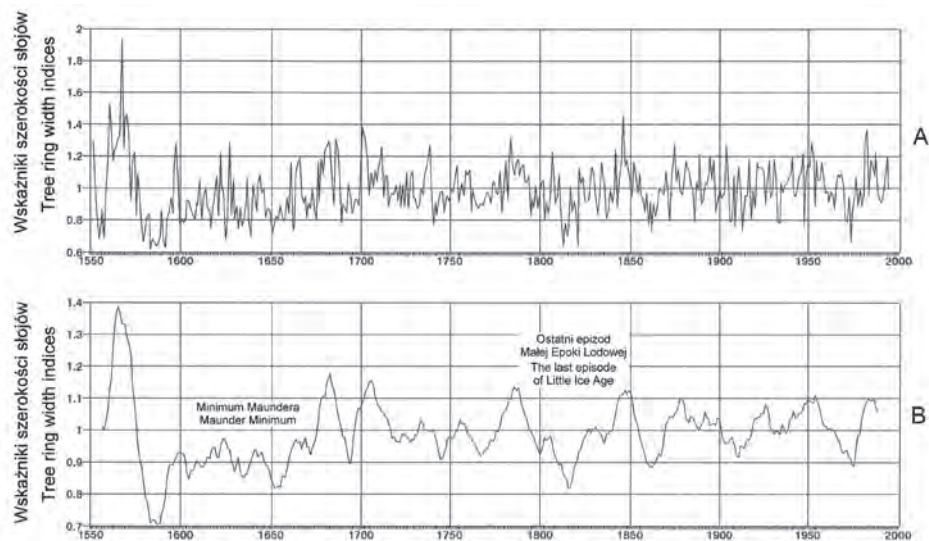
Tab. 3. Wybrane wskaźniki statystyczne charakteryzujące chronologię słoików rocznych świerka (*Picea abies* (L.) Karst.) z Parku Narodowego Wysokie Taury (Rauriser Urwald): MR – średnie szerokości słoików, SD – odchylenie standardowe, MS – średnia wrażliwość, PAWT – procent zgodności chronologii w obrębie drzew, RAWT – korelacja chronologii w obrębie drzew, PA – procent zgodności chronologii każdego drzewa ze średnią chronologią całej grupy, RA – korelacja chronologii każdego drzewa ze średnią chronologią dla całej grupy

Tab. 3. Selected statistic indices for tree-ring chronology of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from the High Tauern National Park (Rauriser Urwald): MR – mean ring widths, SD – standard deviation, MS – mean sensitivity, PAWT – percentage of chronology agreement within trees, RAWT – chronology correlation within trees, PA – percentage of agreement of each tree with the average chronology, RA – correlation of each tree with the average chronology

Nr drzewa Tree Number	Początek Beginning	Koniec End	Liczba lat Number of years	MR (mm)	SD	MS	PAWT	RAWT	PA	RA	Autokorelacja Autocorrelation		
											1	2	3
1	1781	1995	215	1,13	0,30	0,15	69	0,77	70	0,58	0,72	0,50	0,41
2	1592	1995	404	0,76	0,24	0,16	67	0,68	76	0,44	0,74	0,71	0,69
3	1716	1995	280	1,03	0,44	0,17	64	0,79	77	0,61	0,65	0,52	0,48
4	1617	1995	379	0,77	0,32	0,15	64	0,84	79	0,55	0,68	0,58	0,51
5	1739	1995	257	1,17	0,30	0,17	71	0,64	75	0,56	0,67	0,55	0,48
6	1819	1995	177	1,56	0,68	0,19	75	0,90	77	0,65	0,60	0,45	0,35
7	1636	1995	360	0,58	0,17	0,20	69	0,61	78	0,55	0,52	0,39	0,38

Nr drzewa Tree Number	Początek Beginning	Koniec End	Liczba lat Number of years	MR (mm)	SD	MS	PAWT	RAWT	PA	RA	Autokorelacja Autocorrelation		
											1	2	3
8	1709	1995	287	1,09	0,27	0,17	63	0,39	74	0,57	0,60	0,44	0,40
8	1652	1995	344	0,63	0,29	0,20	72	0,82	81	0,60	0,66	0,57	0,52
10	1722	1995	274	1,12	0,44	0,17	72	0,74	75	0,53	0,59	0,48	0,47
11	1718	1995	278	1,06	0,22	0,17	77	0,46	80	0,62	0,47	0,37	0,37
12	1800	1995	196	1,15	0,34	0,16	70	0,35	77	0,58	0,64	0,54	0,54
13	1708	1995	288	1,19	0,33	0,16	75	0,73	78	0,57	0,71	0,58	0,51
14	1745	1995	251	1,17	0,50	0,17	76	0,90	78	0,56	0,37	0,33	0,32
15	1662	1995	334	0,95	0,27	0,17	67	0,61	77	0,51	0,43	0,35	0,30
16	1622	1995	374	0,80	0,30	0,17	69	0,63	77	0,49	0,57	0,53	0,49
17	1709	1995	287	0,84	0,26	0,15	66	0,77	71	0,58	0,45	0,24	0,14
18	1736	1995	260	0,97	0,43	0,18	74	0,87	79	0,51	0,74	0,64	0,56
19	1716	1995	280	1,06	0,46	0,18	71	0,80	76	0,55	0,64	0,53	0,47
20	1775	1995	221	1,30	0,46	0,18	72	0,70	80	0,50	0,78	0,72	0,65
21	1782	1995	214	1,20	0,64	0,20	73	0,94	77	0,48	0,60	0,49	0,45
22	1868	1995	128	2,35	0,55	0,16	67	0,59	72	0,54	0,58	0,38	0,28
23	1728	1995	268	1,19	0,33	0,17	70	0,50	75	0,57	0,72	0,63	0,61
24	1767	1995	229	1,65	0,39	0,15	69	0,66	77	0,46	0,66	0,54	0,47
25	1697	1995	299	1,23	0,38	0,20	72	0,31	70	0,45	0,66	0,45	0,36
26	1782	1995	214	1,40	0,47	0,18	76	0,69	78	0,53	0,74	0,69	0,68
27	1725	1995	271	0,76	0,28	0,17	71	0,70	71	0,41	0,81	0,76	0,74
28	1718	1995	278	0,87	0,31	0,18	68	0,68	74	0,58	0,52	0,38	0,35
29	1787	1995	209	0,94	0,22	0,16	69	0,54	69	0,55	0,68	0,58	0,52
30	1691	1995	305	0,88	0,26	0,17	68	0,65	75	0,36	0,69	0,58	0,55
31	1829	1995	167	1,52	0,62	0,19	76	0,75	69	0,34	0,80	0,73	0,70
32	1742	1995	254	0,94	0,37	0,16	73	0,85	72	0,49	0,71	0,66	0,64
33	1762	1995	234	1,37	0,38	0,15	79	0,75	75	0,43	0,74	0,69	0,63
34	1623	1995	373	0,73	0,23	0,15	68	0,55	79	0,63	0,63	0,59	0,51
35	1726	1995	270	1,22	0,58	0,17			70	0,46	0,62	0,50	0,37
36	1599	1995	397	0,73	0,26	0,20		Tylko jeden wywiert. One core only	70	0,54	0,69	0,61	0,57
37	1552	1995	444	0,63	0,21	0,18			73	0,43	0,74	0,68	0,65
38	1753	1995	243	1,35	0,44	0,16			72	0,57	0,45	0,29	0,30
39	1799	1995	197	1,52	0,85	0,21			76	0,53	0,60	0,50	0,46
Średnia/Mean			275	1,10	0,38	0,17	70,6	0,68	75,1	0,52	0,64	0,53	0,48

miesiącach u drzew wysokich położen górskich przyrost na grubość jest najbardziej intensywny. Dane meteorologiczne, obejmujące średnie miesięczne temperatury powietrza (1887-1995), miesięczne sumy opadów (1891-1991) i usłonecznienia (1887-1985), uzyskano z Obserwatorium Meteorologicznego Sonnblick (3105 m n.p.m.), położonego w odległości około 3 km na WSW od terenu badań.



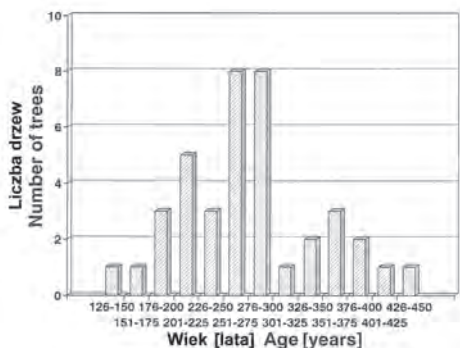
Ryc. 3. Standaryzowana chronologia słoju rocznych świerka *Picea abies* (L.) Karst. (A) z Parku Narodowego Wysokie Taury (Rauriser Urwald) wyrównana metodą średnich ruchomych dla okresu 11 lat (B)

Fig. 3 Standardised tree-ring width chronology of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. (A) from the High Tauern National Park (Rauriser Urwald) smoothed using 11-year moving average (B)

Wyniki

Dla opracowania chronologii słoju rocznych świerka wykorzystano 39 drzew. Strukturę wiekową badanych świerków przedstawiono na ryc. 4. Najdłuższa chronologia obejmowała lata 1552-1995, a więc pochodziła z drzewa liczącego 443 lata. Wiek rzeczywisty tego drzewa przekracza znacznie podaną wartość, ponieważ próba pochodzi z wysokości 1,3 m nad powierzchnią gruntu. Niewiele młodszy był świerk liczący 396 lat. W całej próbie 10 drzew osiągnęło wiek przekraczający 300 lat, a 34 świerki były starsze niż 200 lat. Najmłodsze drzewo liczyło 127 lat. Wiek największej liczby świerków (16 drzew, co stanowi 41%) mieścił się w granicach 251-300 lat. Średni wiek badanych świerków wynosi 275 lat. Rozkład wieku badanych drzew jest daleki od normalnego. Szczegółowe informacje o wieku poszczególnych świerków zawiera tabela 3.

Podstawowe informacje dotyczące długości chronologii, średniej szerokości słoju rocznych, odchylenia standardowego, a także korelacji i podobieństwa chronologii w obrębie drzew i pomiędzy drzewami zawiera również tab. 3. Podobieństwo chronologii opracowanych dla dwóch wywierć pobranych z tego samego drzewa, określone współczynnikami korelacji (RAWT) i procentem zgodności (PAWT), jest bardzo duże, wynosząc odpowiednio 0,68 i 70,6%. Bardzo



Ryc. 4. Struktura wiekowa badanych świerków z Parku Narodowego Wysokie Tauery (Rauriser Urwald)

Fig. 4. Age structure of investigated spruces from the High Tauern National Park (Rauriser Urwald)

przyrostowych (ryc. 3), które wystąpiły w pierwszej połowie XVII i XIX w. Pierwsza z nich przypadła na lata tak zwanego Minimum Maundera. Silny spadek szerokości słoików na początku XIX w. wiąże się z końcową fazą Małej Epoki Lodowej (*Little Ice Age*; Grove 1988). Pomiędzy tymi okresami niemal przez cały wiek XVIII panowały warunki klimatyczne sprzyjające procesom wzrostu i rozwoju świerka. W ostatnich dziesięcioleciach zwraca uwagę wyraźne minimum przyrostowe przypadające na lata siedemdziesiąte XX w. Przyczyny tego zjawiska wymagają dalszych badań. Niewykluczone bowiem, że mamy tu do czynienia z oddziaływaniem na ekosystemy leśne Alp czynników antropogenicznych.

Przeprowadzone analizy dendroklimatyczne wskazują, że szerokość rocznych przyrostów drewna badanych świerków zależy w pierwszym rzędzie od temperatury powietrza sezonu wegetacyjnego, w tym zwłaszcza od temperatury czerwca i lipca. Związek ten określają istotne statystycznie wartości współczynników korelacji (tab. 4, ryc. 5, ryc. 6). W przeciwieństwie do opadów atmosferycznych, których wysokie sumy w miesiącach letnich ograniczają szerokość słoików (korelacja ujemna), usłonecznienie tych miesięcy wykazuje korelację dodatnią, stymulując procesy przyrostu świerka na grubość. Współczynniki korelacji z usłonecznieniem są jednak nieco niższe niż w przypadku temperatury powietrza. Doskonale ilustrują to równoległe przebiegi chronologii słoików rocznych świerka i wymienionych elementów meteorologicznych na Sonnbllicku (ryc. 5). Stwarza to nadzieję na możliwość wykorzystania ciągów przyrostowych świerka z doliny Rauris do rekonstrukcji warunków klimatycznych dla okresu poprzedzającego instrumentalne obserwacje meteorologiczne. Zagadnienia te stanowiące będą przedmiot odrębnego opracowania.

wysokie są również wartości tych współczynników przy porównaniu chronologii poszczególnych drzew ze średnią opracowaną dla 39 świerków. Przybierają one następujące wartości: $RA = 0,52$ i $PA = 75,1\%$. Zwracają uwagę wysokie wartości autokorelacji określające związek między szerokościami sąsiednich słoików (autokorelacje 1. i 3. rzędu). Wynoszą one odpowiednio: 0,64, 0,53 i 0,48. Wskaźnik amplitudy wahań szerokości pierścieni rocznych ($MS - mean\ sensitivity$) waha się w niewielkich granicach, od 0,15 do 0,21 (średnio 0,17).

Przebieg standaryzowanej chronologii przyrostów rocznych świerka wskazuje na istnienie dwóch okresów głębokich depresji

Podsumowanie i wnioski

W oparciu o przeprowadzone analizy dendrochronologiczne 39 świerków (*Picea abies* (L.) Karst.) z rezerwatu Rauriser Urwald w Parku Narodowym Wysokie Taury (Austria) opracowano bezwzględnie datowaną chronologię słoików rocznych tego gatunku, obejmującą lata 1552-1995.

Z przebiegu standaryzowanej chronologii pierścieni rocznych świerka wynika, że w badanym okresie wystąpiły dwie wyraźne depresje przyrostowe obejmujące pierwsze połowy XVII i XIX w. Depresja z XVII w. pozostaje w związku ze znanym w klimatologii ochłodzeniem w okresie tzw. Minimum Maundera. Załamanie przyrostu na początku XIX w. przypada na końcową fazę Małej Epoki Lodowej.

W czasach współczesnych zwraca uwagę wyraźny spadek szerokości słoików rocznych w latach siedemdziesiątych XX wieku.

Spośród trzech analizowanych elementów klimatu (temperatura, opady, usłonecznienie) stymulująco na procesy przyrostu na grubość u świerka oddziałują: temperatura powietrza czerwca-lipca i usłonecznienie w tym okresie. Wysokie sumy opadów, w połączeniu z niską temperaturą powietrza i ograni-

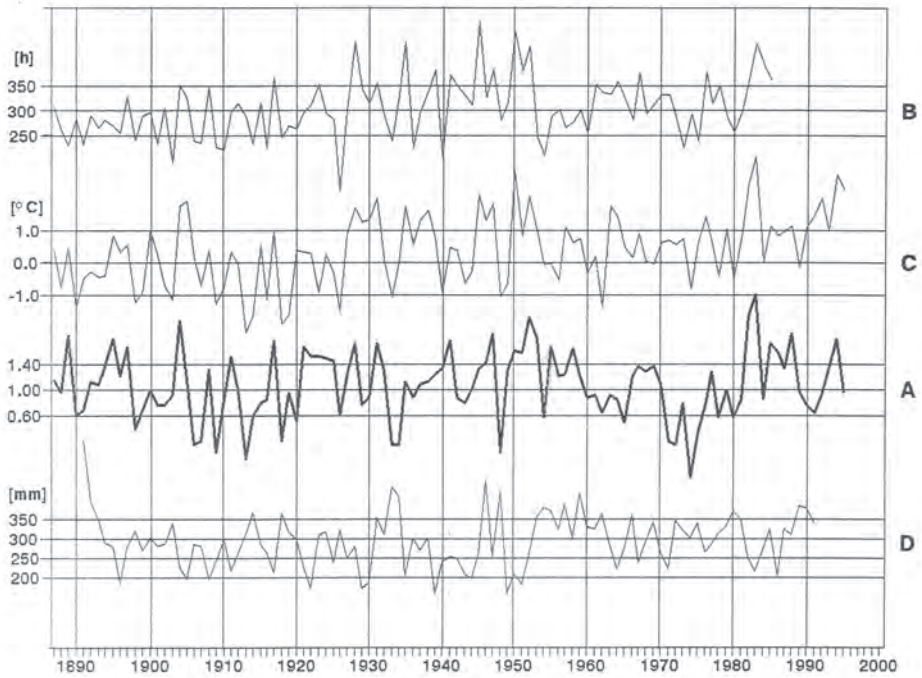
Tab. 4. Współczynniki korelacji i procentowej zgodności określające zależność standaryzowanych szerokości słoików rocznych świerka z Parku Narodowego Wysokie Taury (Rauriser Urwald) od średnich temperatur powietrza (1887-1995), opadów (1891-1991) i usłonecznienia (1887-1985) na stacji Sonnblick.

Tab. 4. Coefficients of correlation and percentages of agreement between ring width indices for Norway spruce from the High Tauern National Park (Rauriser Urwald), and mean air temperature (1887-1995), precipitation (1891-1991) and sunshine (1887-1985) in Sonnblick station.

Okres Period		Zima Winter D-F	Wiosna Spring M-M	Lato Summer J-A	Jesień Autumn S-N	Czerwiec-Lipiec June-July J-J
Element klimatyczny Climatic factor						
Temperatura Temperature	Korelacja Correlation	0,00	0,00	0,47**	0,10	0,56**
	Zgodność % Agreement %	48	48	74	54	78
Opady Precipitation	Korelacja Correlation	0,00	-0,15	-0,28	-0,21	-0,21*
	Zgodność % Agreement %	31	38	44	48	48
Usłonecznienie Sunshine	Korelacja Correlation	-0,30	0,33	0,29*	0,01	0,44**
	Zgodność % Agreement %	38	38	61	32	68

* - korelacja istotna na poziomie 0,01 - significant at 0.01 confidence level for correlation

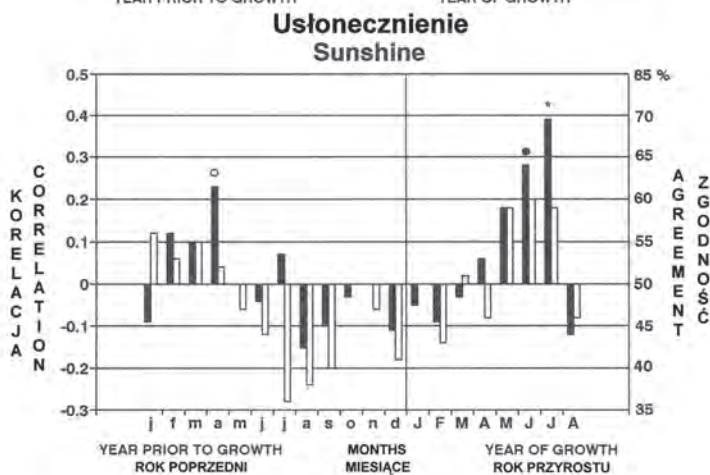
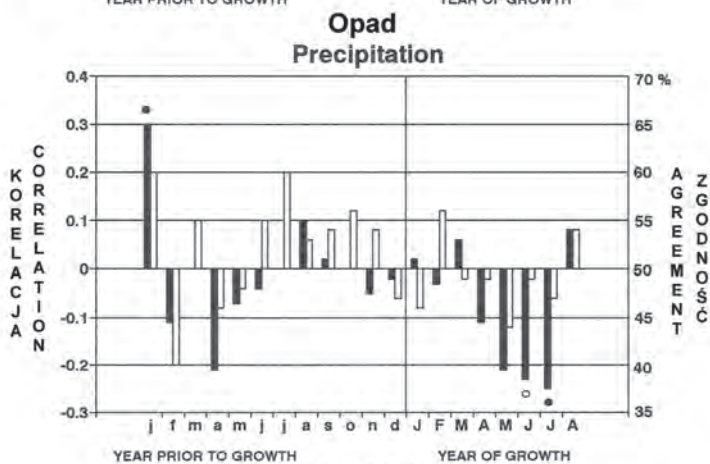
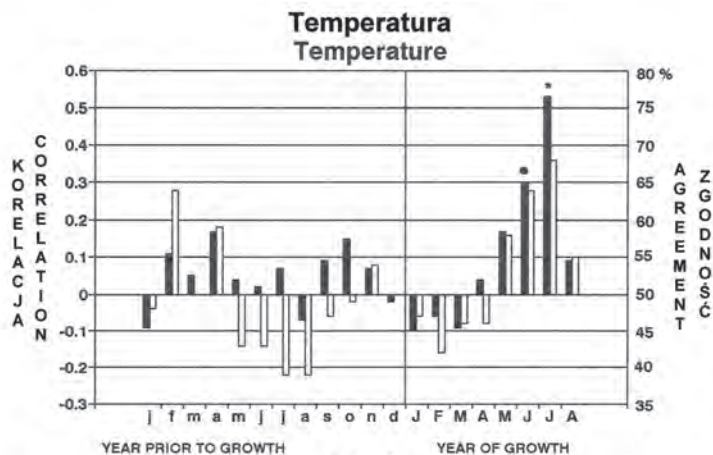
** - korelacja istotna na poziomie 0,001 - significant at 0.001 confidence level for correlation



Ryc. 5. Porównanie standaryzowanej chronologii słoów rocznych świerka (A) z Parku Narodowego Wysokie Taury z usłonecznieniem VI-VII (B), średnią temperaturą powietrza VI-VII (C) i sumą opadów VI-VII (D) ze stacji meteorologicznej Sonnblick
 Fig. 5. The comparison of standardised tree-ring width chronology of Norway spruce (A) from the High Tauern National Park (Rauriser Urwald) with June-July sunshine (B), mean June-July temperature (C) and June-July precipitation (D) from Sonnblick meteorological station

Ryc. 6. Zależność standaryzowanych szerokości słoów rocznych świerka z Parku Narodowego Wysokie Taury (Rauriser Urwald) od średnich miesięcznych temperatur powietrza (1887-1995), miesięcznych sum opadów (1891-1991) i miesięcznych sum usłonecznienia (1887-1985) w Sonnblick, wyrażona współczynnikiem korelacji (czarne słupki) i współczynnikiem zbieżności (słupki białe). Współczynniki korelacji przekraczające poziom istotności 0,02, 0,01, i 0,001 oznaczono odpowiednio następującymi symbolami: ○ ● ★

Fig. 6. Relationship of mean ring widths indices in Norway spruce from the High Tauern National Park (Rauriser Urwald) with mean monthly air temperature (1887-1995), monthly precipitation (1891-1991) and monthly sunshine (1887-1985) in Sonnblick, expressed by the coefficient of correlation (black bars) and percentage of agreement (white bars). Correlation coefficients that exceeded significance level 0.02, 0.01 and 0.001 are indicated by symbols: ○ ● ★ respectively.



czonym dopływem promieniowania słonecznego, zmniejszają szerokość rocznych przyrostów drewna.

Stwierdzone korelacje stwarzają możliwość zastosowania uzyskanych wyników do rekonstrukcji warunków klimatycznych okresu letniego na Sonnblicku za lata 1552-1886.

Podziękowanie

Dane dla Sonnblicka uzyskano z Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik w Wiedniu oraz z bazy danych miesięcznych GHCN - Global Historical Climate Network dostępnej w NOAA poprzez internet: <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/>. Szczególne podziękowanie składamy Paniom Annie i Lonny Glaser z Fundacji „Janineum” w Wiedniu, gdzie dzięki uzyskanemu stypendium mogliśmy dokonać badań terenowych w Alpach. Pracę sfinalizowano dzięki wsparciu Komitetu Badań Naukowych, grant nr 3 P04G 07223.

LITERATURA

- Auer I., Böhm R., Mohnl H., 1993, *Die hochalpinen Klimaschwankungen der letzten 105 Jahre beschrieben durch Zeitreihenanalysen der auf Sonnblick gemessenen Klimatelemente*, 88.-89. Jahrbuch Des Sonnblick-Vereins für des Jahres 1990-1991, Wien, 3-48.
- Auer I., Böhm R., Schöner W., 2001, *Austrian Long-Term Climate 1767-2000*, Österreichische Beiträge für Meteorologie und Geophysik, 25, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Vienna.
- Bednarz Z., 1976, *Wpływ klimatu na zmienność szerokości stojów rocznych limby (Pinus cembra L.) w Tatrach*, Acta Agraria et Silvestria, series Silvestris, 16, 17-34.
- Bednarz Z., Ptak J., 1977, *Program komputerowy TREE 0,5-5 do analiz dendrochronologicznych*, AR Kraków.
- 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.
- Bednarz Z., Jaroszewicz B., Ptak J., Szwagrzyk J., 1998/99, *Dendrochronology of Norway Spruce (Picea abies (L.) Karst.) in the Babia Góra National Park, Poland*, Dendrochronologia, 16-17, 45-55.
- Blasing T. J., Solomon A. M., Duvick D. N., 1984, *Response Functions Revisited*, Tree-Ring Bulletin, 44, 1-15.
- Bradley R.S., Jones P.D. (eds), 1992, *Climate since A.D. 1500*, Routledge, London, ss. 706.
- Briffa K.R., 1995, *Interpreting High-Resolution Proxy Climate Data - the Example of Dendroclimatology*, [in:] Von Storch H., Navarra A. (eds), *Analysis of Climate Variability. Applications of Statistical Techniques*, Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 77-94.
- Cropper J. P., 1982, *Response Functions*, [in:] Hughes M.K., Kelly P.M., Pilcher J.R., LaMarche V. C. (eds.), *Climate from Tree Rings*, Cambridge University Press, Cambridge, 47-50.
- Feliksik E., 1972, *Studia dendroklimatologiczne nad świerkiem (Picea excelsa L.)*, cz. 1, 2, Acta Agraria et Silvestria, series 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.
- Hofgaard A., 1993, *Structure and Regeneration Patterns in a Virgin Picea abies Forest in Northern Sweden*, *Journal of Vegetation Science*, 4, 601-608.
- Muter E., Bednarz B., 2003, *Klimatyczne uwarunkowania przyrostu na grubość świerka (Picea abies (L.) H. Karst.) z regionu Parku Narodowego Orntjernkampen w Norwegii*, *Sylvan*, 3, 47-56.
- Obreńska-Starkel B., Starkel L., 1991, *Efekt cieplarniany a globalne zmiany środowiska przyrodniczego*, *Zeszyty Naukowe IGI PAN*, 4, ss. 71.
- Obreńska-Starkel B. (ed.), 2000a, *Reconstructions of Climate and its Modelling*, *Prace Geograficzne*, Institute of Geography of the Jagiellonian University, Cracow, 107, ss. 436.
- Obreńska-Starkel B. (ed.), 2000b, *Images of Weather and Climate*, *Prace Geograficzne*, Institute of Geography of the Jagiellonian University, Cracow, 108, ss. 222.
- Obreńska-Starkłowa B., 1997a, *Współczesne poglądy na zmiany klimatyczne w Europie w okresie schyłku małego glacjału*, [w:] J. Trepińska (red.), *Wahania klimatu w Krakowie (1792-1995)*, IG UJ, Kraków, 163-190.
- Obreńska-Starkłowa B., 1997b, *Dylematy związane z badaniami klimatu małego glacjału w skali globalnej*, [w:] J. Trepińska (red.), *Wahania klimatu w Krakowie (1792-1995)*, IG UJ, Kraków, 191-198.
- 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.
- Stüber E. (red.), 1988, *„Rauriser Urwald“ Uriger Blockwald mit zahlreichen Moortümpeln*, *National Park Hohe Tauern*, Salzburg, ss. 54.
- Szychowska-Krąpiec E., 1998, *Spruce Chronology from Mt. Pilsko Area (Żywiec Beskid Range) 1641-1995 AD*, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences*, 46(2), 75-86.
- Tranquillini W., 1979, *Physiological Ecology of the Alpine Timberline*, *Ecological Studies*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 31, ss. 137.
- Trepińska J. (red.), 1997, *Wahania klimatu w Krakowie (1792-1995). Wiekowe zmiany klimatu na podstawie krakowskiej serii meteorologicznej (1792-1995) ze szczególnym uwzględnieniem schyłku małego glacjału*, IG UJ, Kraków, ss. 204.
- Trepińska J., 2002, *Górskie klimaty*, Wydawnictwo IGI UJ, Kraków, ss. 202.
- Wirth H., 1979, *Nature Reserves in Europe*, H. Wirth Edition Leipzig, Leipzig, ss. 331.
- Zielski A., Krąpiec M., 2004, *Dendrochronologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, ss. 328.

DENDROCHRONOLOGY OF NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* (L.) KARST.) FROM THE HIGH TAUERN NATIONAL PARK (AUSTRIA)

SUMMARY

The paper presents dendrochronology of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from the upper part of the Rauris valley in the High Tauern in Eastern Alps (Austria). The area of investigations is situated about 90 km southerly from Salzburg (fig. 1), near the upper timberline, which is situated at the elevation 1800-1930 m a.s.l. (210-340 m above the valley bottom). The samples were taken from the spruces on the slope with aspect WSW-W and average inclination 24-34°. On the WSW from this place in the distance 3 km is situated the synoptic station (WMO number 11146) Sonnblick on the top of the mountain (geographical coordinates: 47° 03' N, 12° 57' E; altitude = 3106 m a.s.l.). Climatic conditions represent typical alpine climate with cool summer and large amount of precipitation (fig. 2).

Tree-ring width was analysed for 39 samples (tab. 1, tab. 2). The age of the trees was between 127 and 443 years (fig. 3), with an average age 275 years. Detailed laboratory and statistical analysis contains the information concerning the mean tree-ring width, standard deviation, mean sensitivity and percentage of agreement within trees, and correlation within trees, as well as the percentage of agreement of each tree with the average index chronology, and correlation of each tree with the average chronology (tab.1).

The standardized tree-ring chronology covered the period 1552-1995 (tab. 3). Long-term variability of tree-ring indices (fig. 4) shows two period of the deep depression of tree-ring width at the first half of the 17th and 19th centuries. The first is connected with the cool period of the Maunder Minimum. The second one covered the last episode of the Little Ice Age.

The best correlation of the tree-ring widths was observed with the average temperature and sunshine duration in June-July at Sonnblick station. Correlation with precipitation is weaker and negative (tab. 4, fig. 5 and 6). The results will be useful for further reconstruction of the summer temperature conditions at Sonnblick for the years 1552-1886.

Translated by T. Niedźwiedź