

ELŻBIETA MUTER, BARTŁOMIEJ BEDNARZ

Klimatyczne uwarunkowania przyrostu na grubość świerka (*Picea abies* (L.) H. Karst.) z regionu Parku Narodowego Ormtjernkampen w Norwegii

Effect of climatic conditions on the width increment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) from the Ormtjernkampen National Park in Norway

ABSTRACT

A local tree ring chronology for Norway spruce from the Ormtjernkampen National Park in Norway has been developed for the years 1808-1996. The widths of annual tree rings are shown as absolute [mm] and standardised values. The dendroclimatic analyses have demonstrated that high June-July air temperatures and atmospheric precipitation in January have a stimulatory effect on ring formation. The high air temperatures of April in the current year and of June and September in the year prior to ring formation have a limiting effect on radial increment.

KEY WORDS

Picea abies, tree-ring analysis, radial increment, dendroclimatology, Ormtjernkampen National Park, Norway, Scandinavia

Wstęp i cel pracy

Świerk pospolity (*Picea abies* (L.) H. Karst.) w całym swoim naturalnym zasięgu jest jednym z najważniejszych gatunków lasotwórczych. Występuje w górach środkowej i południowej Europy, a w północnej i wschodniej części kontynentu zajmuje rozległe obszary bez względu na wzniesienie nad poziom morza. Północna i górna granica występowania świerka jest limitowana przez ciepłotę powietrza, natomiast na południu i wschodzie Europy elementem klimatycznym decydującym o jego rozmieszczeniu jest przede wszystkim niedobór opadów. Rozległy zasięg naturalnego występowania świerka świadczy o wybitnych możliwościach przystosowawczych tego gatunku [Modrzyński 1998]. W Europie świerk zaliczany jest do podstawowych gatunków wykorzystywanych w dendrochronologii i dendroklimatologii [Felixsik 1972, Schweingruber i in. 1979, Eckstein i Aniol 1981, Schweingruber 1983, Szychowska-Krapiec 1998, Bednarz i in. 1998-1999, Zielski i Koprowski 2001]. W Skandynawii głównym przedmiotem badań dendrochronologicznych jest sosna, natomiast niewiele jest prac poświęconych świerkowi (Mäkinen i in. 2000). Dotyczy to zwłaszcza Norwegii.

Celem niniejszych badań było opracowanie standardu dendrochronologicznego dla świerka ze stanowiska położonego w północno-zachodniej części jego zasięgu oraz określenie wpływu temperatury powietrza i opadów atmosferycznych na szerokości słoików rocznych tego gatunku.

ELŻBIETA MUTER

Katedra Botaniki Leśnej i Ochrony Przyrody
Wydział Leśny, Akademia Rolnicza w Krakowie
Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków
e-mail: rlkuchni@cyf-kr.edu.pl

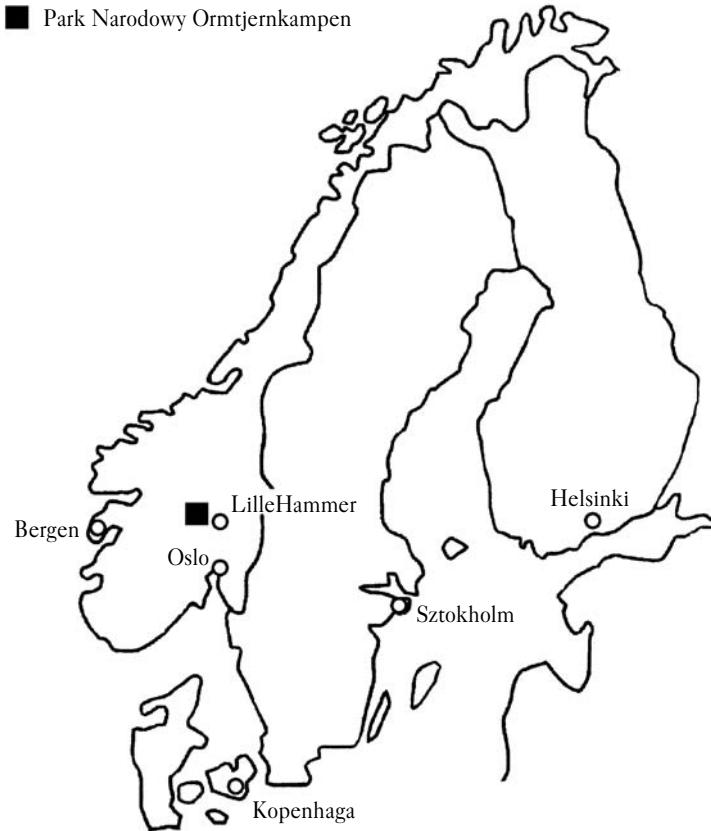
BARTŁOMIEJ BEDNARZ

Zakład Ochrony Lasu
Wydział Leśny, Akademia Rolnicza w Krakowie
Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków
e-mail: rlbbednar@cyf-kr.edu.pl

Teren badań i materiał

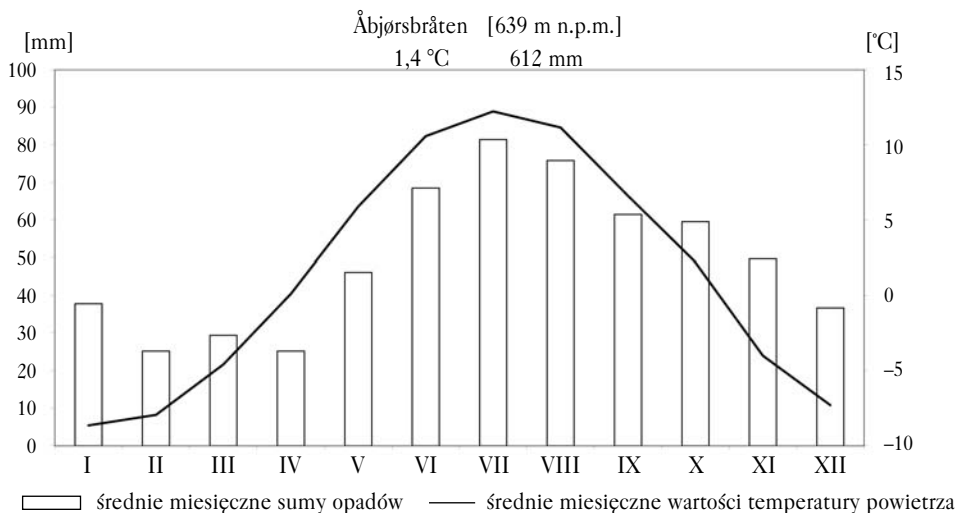
Materiał do badań pobrano w rejonie Parku Narodowego Ormtjernkampen (ryc. 1), położonego w środkowej części południowej Norwegii (61°12' N, 9°46' E). Jest to najmniejszy norweski park narodowy (900 ha), utworzony w 1968 roku dla ochrony naturalnych drzewostanów sosnowych [Pawlaczyk 1997], powyżej których występują bory świerkowe. Omawiany obszar wznosi się na wysokość 1128 m n.p.m.

Badane świerki pochodziły z drzewostanu położonego w strefie górnej granicy lasu (885-900 m n.p.m.), na stoku o wystawie południowo-zachodniej i nachyleniu 30°. Drzewostan charakteryzował się rozluźnionym zwarciem. Gatunkiem panującym był świerk (*Picea abies*), w niewielkiej domieszce występowała brzoza (*Betula pubescens*) i jarzębina (*Sorbus aucuparia*). Świerki osiągające wysokość 16-20 m ugałęzione były do podstawy pnia. Wywierty pobrano w sierpniu 1996 roku z 40 drzew. Nawiercono świerki panujące w drzewostanie, o wysokiej żywotności, bez widocznych oznak uszkodzeń ze strony owadów i grzybów oraz czynników abiotycznych. Z każdego drzewa przy użyciu świdra przyrostowego Presslera pobrano jeden wywiert, na wysokości 1,30 m nad powierzchnią gruntu.



Ryc. 1.

Położenie Parku Narodowego Ormtjernkampen
Location of the Ormtjernkampen National Park



Ryc. 2.

Zmienność średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza i miesięcznych sum opadów w stacji meteorologicznej Åbjørsbråten (1957-1997)

Variation in mean monthly air temperatures and monthly atmospheric precipitation sums in the Åbjørsbråten station (1957-1997)

Dane klimatyczne

Średnie miesięczne temperatury powietrza i miesięczne sumy opadów wykorzystane w analizach dendroklimatycznych pochodziły ze stacji meteorologicznej Åbjørsbråten, oddalonej od miejsca pobrania wywierćów o około 50 km na południowy zachód i położonej na wysokości 639 m n.p.m. Dane dotyczące temperatury i opadów obejmują lata 1957-1997 (ryc. 2).

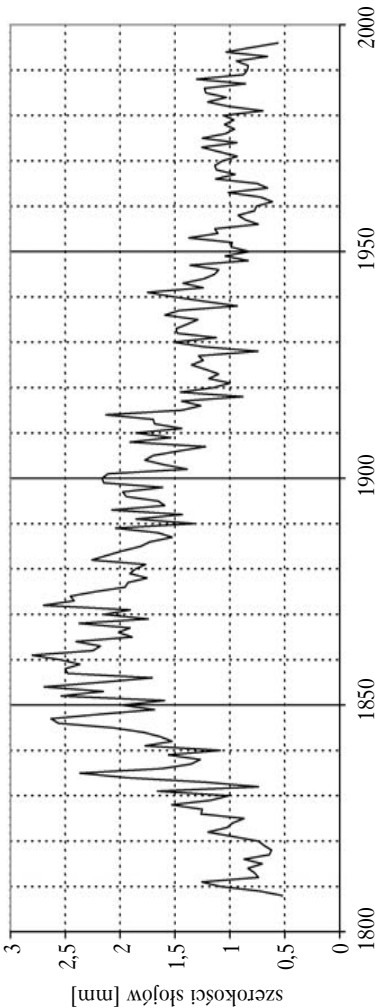
Klimat Norwegii kształtowany jest przez silne wpływy mas powietrza atlantyckiego, ogrzewanego nad ciepłym Prądem Północnoatlantyckim i jego odgałęzieniem – Prądem Norweskim. Z drugiej strony duże znaczenie mają chłodne masy powietrza arktycznego i polarno-kontynentalnego. Pasma Gór Skandynawskich, o przebiegu prawie południkowym, skutecznie ogranicza wpływy atlantyckie, stąd też klimat wybrzeża ma charakter morski, natomiast na wschód od gór nasilają się cechy kontynentalne [Martyn 1985]. Park Narodowy Ormtjernkampen i stacja Åbjørsbråten leżą na południowy wschód od najwyższych wzniesień Gór Skandynawskich, w klimacie przejściowym, umiarkowanie chłodnym. Średnia temperatura stycznia wynosi $-8,6$ °C, lipca $12,2$ °C, roczna $1,4$ °C. Największe opady występują w lipcu (81 mm), natomiast najmniejsze od lutego do kwietnia (około 25 mm). Średnia roczna suma opadów wynosi 612 mm.

Metodyka

Szerokości słoików rocznych pomierzono przy pomocy przyrostomierza BIOTRONIK BEPD 4c z dokładnością do 0,05 mm. Chronologie słoików rocznych sprawdzono pod względem stopnia ich wizualnego podobieństwa oraz zgodności lat wskaźnikowych [Schweingruber 1983]. W konsekwencji próby z dwu drzew odrzucono jako odbiegające od grupy. Do dalszych analiz wykorzystano zatem 38 sekwencji słoików. Dla poszczególnych drzew obliczono podstawowe wskaźniki statystyczne charakteryzujące ich chronologie, w tym długości ciągów, średnie szerokości słoików, odchylenia standardowe, średnie czułości, autokorelacje 1, 2 i 3-go rzędu. Średnia czułość – mean

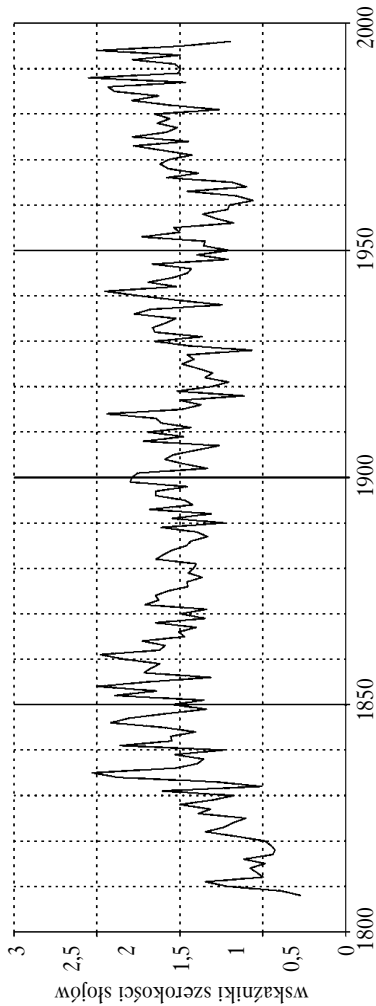
sensitivity [Fritts 1976] jest miarą wyrażającą amplitudę wahań szerokości słojów z roku na rok. W przypadku słojów o identycznej szerokości wynosi ona 0 i rośnie wraz z różnicą grubości sąsiadujących przyrostów. Na szerokość słojów rocznych drzew wpływają nie tylko warunki roku formowania się przyrostu, lecz także lat poprzednich. Zależność tę wyrażają współczynniki autokorelacji. Określają one związek grubości słojów w roku bieżącym i trzech latach poprzednich (odpowiednio autokorelacja 1, 2, 3 rzędu). Ponadto obliczono współczynniki korelacji (r) i podobieństwa (GL) chronologii każdego drzewa ze średnią dla całej grupy, które potwierdziły poprawną synchronizację czasową słojów badanych drzew [Fritts 1976, Schweingruber 1983]. W wyniku uśrednienia szerokości pomierzonych słojów obliczono lokalną bezwzględnie datowaną chronologię przyrostów rocznych badanych świerków, wyrażoną w mm (ryc. 3).

W celu wyeliminowania długookresowych fluktuacji przyrostowych, wynikających między innymi ze zjawiska trendu starczego oraz odmienności indywidualnych, chronologie poszczególnych drzew poddano standaryzacji przy użyciu funkcji wykładniczych i liniowych [Fritts 1976]. Po uśrednieniu obliczonych wskaźników szerokości słojów otrzymano standaryzowaną chronologię dla całej grupy (ryc. 4).



Ryc. 3.

Chronologia słojów rocznych świerka z Parku Narodowego Ormtjernkampen w Norwegii
Tree ring width chronology for spruce in the Ormtjernkampen National Park, Norway



Ryc. 4.

Standaryzowana chronologia słojów rocznych świerka z Parku Narodowego Ormtjernkampen w Norwegii
Standardised tree ring width chronology for spruce in the Ormtjernkampen National Park, Norway

W analizach dendroklimatycznych wykorzystano współczynniki korelacji i podobieństwa, określające zależność standaryzowanych szerokości słoików rocznych od średnich miesięcznych temperatury powietrza oraz miesięcznych sum opadów. Obliczenia wykonano dla okresu od stycznia roku poprzedniego do sierpnia roku formowania się słoików. Analogiczne analizy przeprowadzono dla poszczególnych pór roku oraz czerwca-lipca, jako miesięcy najintensywniejszego przyrostu na grubość u drzew ze strefy górnej granicy lasu. Do obliczeń statystycznych użyto pakietu programów TREE 0,5-5 [Bednarz i Ptak 1977].

Wyniki

ANALIZY DENDROCHRONOLOGICZNE. Na podstawie analiz dendrochronologicznych opraco-wano rzeczywistą (ryc. 3) i standaryzowaną (ryc. 4) chronologię słoików rocznych świerka z Parku Narodowego Ormtjernkampen w Norwegii, obejmującą lata 1808-1996. Wiek pierśnicowy najstarszego świerka wynosi 189 lat. Rzeczywisty wiek tego drzewa, zważywszy na jego występowanie w pobliżu górnej granicy lasu, przekracza prawdopodobnie 200 lat.

Z analiz porównawczych wynika daleko idąca zgodność chronologii słoików rocznych badanych świerków. Świadczą o tym duże wartości średnich współczynników podobieństwa i korelacji, które przy porównaniu chronologii każdego drzewa z chronologią dla całej grupy wynoszą odpowiednio $GL=83\%$ i $r=0,66$ (tab. 1). O zgodności rytmu zmian szerokości słoików rocznych świerków świadczą również zaznaczające się wyraźnie u wszystkich drzew lata głębokich depresji i kulminacji przyrostowych, określane mianem lat wskaźnikowych. Słoje bardzo wąskie powstały w latach: 1902, 1911, 1918, 1931, 1948, 1956, 1964, 1981, natomiast słoje szerokie w latach: 1872, 1908, 1919, 1963, 1988 (ryc. 3 i 4). Wymienione minima i maksima przyrostowe wystąpiły u wszystkich badanych drzew.

U badanych świerków średnia czułość waha się od 0,15 do 0,33 (tab. 1), osiągając wysoką wartość średnią dla grupy (0,23). Tak znaczne amplitudy wahań grubości pierścieni rocznych są charakterystyczne dla drzew rosnących w skrajnych warunkach siedliskowych. Podstawowe informacje statystyczne dotyczące chronologii badanych świerków zawiera tabela 1.

ANALIZY DENDROKLIMATOLOGICZNE. Z analiz dendroklimatycznych wynika, że w decydującym stopniu na sze-

Tabela 1.

Podstawowe wskaźniki statystyczne charakteryzujące chronologie słoików rocznych świerka z Parku Narodowego Ormtjernkampen w Norwegii obliczone dla grupy 38 drzew

Main statistical indices describing annual tree ring chronologies for spruces in the Ormtjernkampen National Park, Norway calculated for 38 trees

Liczba lat	Początek chronologii	Średnia szerokość słoików [mm]	Odczylenie standardowe [mm]	Średnia czułość	r	GL [%]	Autokorelacja		
							1	2 3	
minimum	1900	0,62	0,31	0,15	0,42	75	0,22	0,19	0,11
maksimum	1808	1,80	1,06	0,33	0,88	89	0,83	0,76	0,70
średnia	1868	1,38	0,59	0,23	0,66	83	0,49	0,42	0,37

r – współczynnik korelacji każdego drzewa ze średnią całej grupy; GL – współczynnik podobieństwa każdego drzewa ze średnią całej grupy

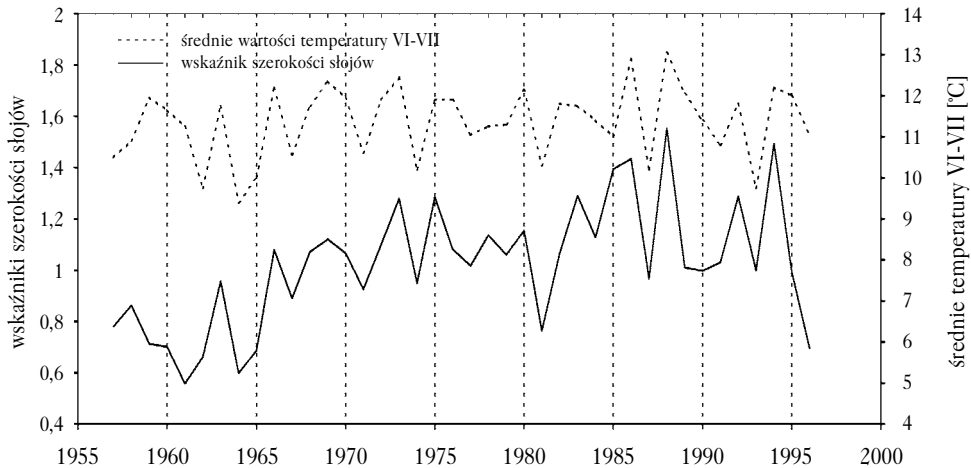
Tabela 2.

Współczynniki korelacji i podobieństwa określające zależność standaryzowanych szerokości słoików rocznych badanych świerków od średnich temperatur powietrza i sum opadów atmosferycznych ze stacji Åbjørsbråten

Correlation coefficients and similarities describing the relationship between the standardised tree ring widths of spruces and the mean air temperature and precipitation in the Åbjørsbråten station

		Zima XII-II	Wiosna III-V	Lato VI-VIII	Jesień IX-XI	VI-VII
Współczynnik korelacji	Temperatura	-0,113	0,029	0,488**	-0,221	0,650***
	Opady	0,244	0,165	0,017	-0,359*	-0,172
Współczynnik podobieństwa [%]	Temperatura	46,2	41,0	84,6	57,7	83,3
	Opady	53,8	47,4	55,1	35,9	38,5

* – poziom istotności 0,02; ** – poziom istotności 0,001; *** – poziom istotności 0,0001



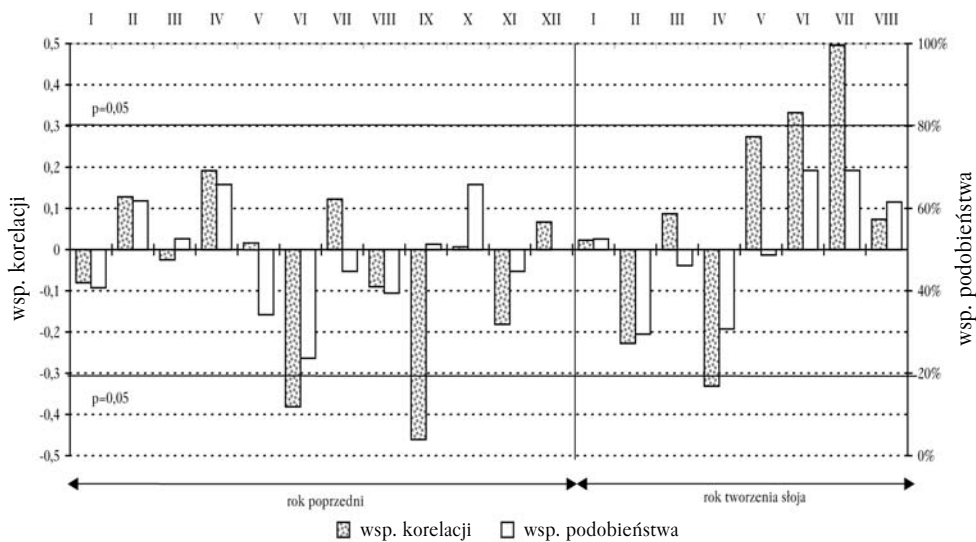
Ryc. 5.

Porównanie standaryzowanej chronologii słoików rocznych badanych świerków z Parku Narodowego Ormtjernkampen w południowej Norwegii ze średnią temperaturą powietrza czerwca-lipca w stacji Åbjørsbråten

Comparison of the standardised tree ring widths chronology for spruce in the Ormtjernkampen National Park in southern Norway with the mean air temperatures of June-July in the Åbjørsbråten station

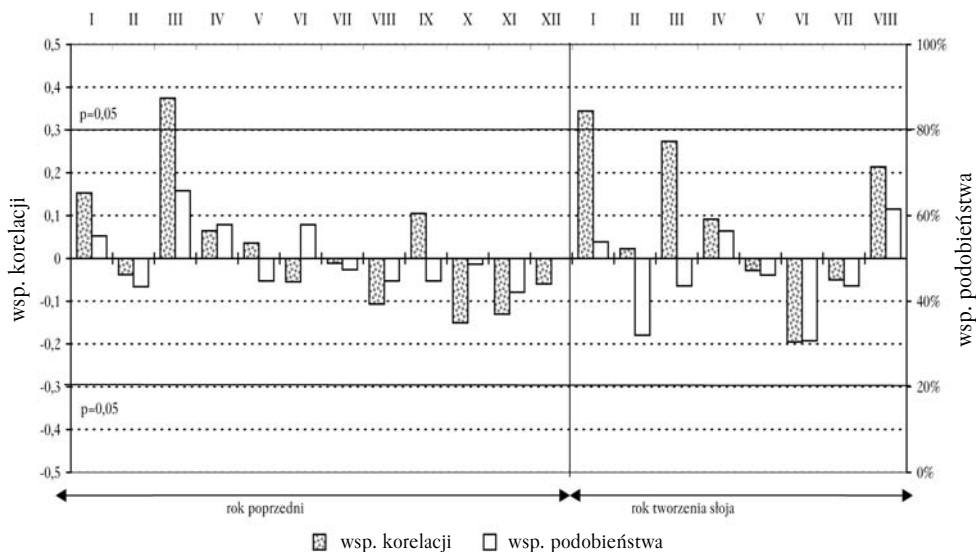
rokość rocznych przyrostów drewna badanych świerków wpływają warunki termiczne czerwca-lipca roku formowania się przyrostu (tab. 2, ryc. 5). Związek standaryzowanych szerokości słoików ze średnią temperaturą powietrza tych miesięcy wyraża współczynnik podobieństwa $GL=83\%$ i korelacji $r=0,65$ ($p=0,0001$). Oznacza to, że ciepota powietrza tych dwu miesięcy determinuje $42,25\%$ (r^2) zmienności szerokości słoików rocznych. Niewątpliwie wpływa na to fakt, iż badane świerki rosną w strefie górnej granicy lasu, gdzie warunki termiczne sezonu wegetacyjnego wybijają się na plan pierwszy wśród czynników ograniczających aktywność miazgi u drzew [Tranquillini 1979].

Wysoka ciepota powietrza w kwietniu ogranicza wielkość przyrostu na grubość (ryc. 6). Pozostaje to w związku ze zjawiskiem suszy fizjologicznej [Tranquillini 1979], potęgowanej intensywną insolacją przy najmniejszym w tym okresie zachmurzeniu i opadach atmosferycznych (ryc. 2). Szerokość słoików rocznych ograniczają także wysokie wartości temperatury czerwca i września roku poprzedniego (ryc. 6). W przypadku września wpływ ten zaznacza się



Ryc. 6.

Zależność szerokości słoików od temperatury
 Relationship between tree ring widths and air temperature



Ryc. 7.

Zależność szerokości słoików od opadów
 Relationship between tree ring widths and precipitation

szczególnie wyraźnie, określa go bowiem współczynnik korelacji $r=-0,46$ ($p=0,003$). Wysoka temperatura tego miesiąca może zakłócać procesy przemian metabolicznych, przygotowujących świerki do spoczynku zimowego.

Związek szerokości słoju rocznych świerka z wielkością opadów atmosferycznych zaznacza się najwyraźniej dla stycznia roku formowania się przyrostu oraz marca roku poprzedniego (ryc. 7). Wartości współczynników korelacji określające te zależności wynoszą odpowiednio $r=0,34$ ($p=0,03$) i $r=0,37$ ($p=0,02$).

Prawdopodobnie obfite opady śniegu w tych miesiącach chronią glebę przed zamarznięciem i zmniejszają insolację, wpływając na obniżenie szkód powodowanych przez zjawisko suszy fizjologicznej. O pozytywnym wpływie obfitych opadów stycznia i marca na wielkość przyrostu świadczy fakt, że zjawisko to akcentuje się wyraźnie zarówno w odniesieniu do roku formowania się przyrostu, jak i roku poprzedniego.

Dyskusja

Duże, pozytywne współczynniki korelacji, określające zależność szerokości słoju od ciepłoty powietrza miesięcy letnich, zwłaszcza czerwca-lipca roku tworzenia się słoja, nie pozostawiają wątpliwości, że dla świerków rosnących w warunkach Parku Narodowego Ormtjernkampen ten element klimatyczny ma znaczenie podstawowe. Podobne wyniki z obszaru Finlandii uzyskali Mäkinen i in. [2000], przy czym w przypadku ich badań na pierwszy plan wybijała się temperatura czerwca. Wykazali oni również silne ujemne korelacje przyrostu z temperaturą lutego, występujące również u świerków z Parku Narodowego Ormtjernkampen. Natomiast w Finlandii znacznie słabiej niż w Norwegii zaznaczył się negatywny wpływ wysokich temperatur kwietnia roku formowania się słoju na ich szerokość. Przyrosty świerków z Finlandii negatywnie korelowały z temperaturą miesięcy sezonu wegetacyjnego, zwłaszcza czerwca, lipca i września roku poprzedzającego tworzenie się słoja. W naszych analizach zależność ta akcentuje się wyraźnie tylko dla czerwca i września. Zasadnicze odmienności dotyczą korelacji przyrostu na grubość z opadami. W badaniach Mäkinena i in. [2000] wpływ opadów na szerokość słoju zaznacza się słabo. Jedynie opady maja roku tworzenia się słoja są istotnie negatywnie skorelowane z przyrostem, brak natomiast zależności od opadów stycznia i marca.

Badania dotyczące klimatycznych uwarunkowań przyrostu na grubość u świerka w Tatrach [Feliksik 1972] i na Babiej Górze [Bednarz i in. 1998-1999] wykazały decydujący wpływ wysokiej temperatury powietrza miesięcy letnich roku tworzenia się słoja na jego szerokość. Jest to zbieżne z wynikami uzyskanymi w niniejszej pracy. Świadczy to o zbliżonej reakcji świerków z Karpat i Parku Narodowego Ormtjernkampen na brak ciepła w okresie ich najintensywniejszego przyrostu na grubość. Ograniczający wpływ wysokich opadów miesięcy letnich na szerokość słoju, tak charakterystyczny dla świerków z Tatr i Babiej Góry, w przypadku Parku Narodowego Ormtjernkampen zaznacza się o wiele mniej wyraźnie. Natomiast pozytywna korelacja przyrostu na grubość świerka z opadami marca w porównywanym regionie wykazuje daleko idące analogie, pomimo tak znacznego ich geograficznego oddalenia.

Świerki z Pojezierza Olsztyńskiego [Zielski i Koprowski 2001], pomimo znacznie mniejszej odległości od Parku Narodowego Ormtjernkampen, charakteryzują się znacznie większymi odmiennosciami w zakresie klimatycznych uwarunkowań przyrostu na grubość. Występująca u nich ujemna korelacja szerokości słoju rocznych z temperaturą czerwca roku formowania się przyrostu, świadczy o dostatecznej ciepłocie powietrza dla tego gatunku na niżowym stanowisku, natomiast pozytywne korelacje z opadami miesięcy od maja do sierpnia wskazują na niedobory wilgotności, charakterystyczne dla obszarów o klimacie bardziej kontynentalnym.

Podsumowanie wyników i wnioski

- Opracowano lokalną chronologię słoju rocznych świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) H. Karst.) dla regionu Parku Narodowego Ormtjernkampen w Norwegii, obejmującą okres od 1808 do 1996 roku. Szerokości rocznych przyrostów określono w wartościach bezwzględnych i standaryzowanych.
- Na szerokość rocznych przyrostów drewna badanych świerków w decydującym stopniu wpływają warunki termiczne czerwca-lipca roku formowania się przyrostu.
- Duże średnie wartości temperatury powietrza kwietnia roku bieżącego oraz czerwca i września roku poprzedniego ograniczają szerokość słoju świerka.
- Korzystnie na przyrost grubości badanych świerków wpływają obfite opady stycznia i marca.
- Ścisła zależność szerokości słoju rocznych badanych świerków od średnich miesięcznych temperatury powietrza czerwca-lipca stwarza możliwości rekonstrukcji warunków termicznych tych miesięcy dla rejonu Parku Narodowego Ormtjernkampen, na podstawie analizy pierścieni rocznych drzew żywych i drewna zabytkowego.

Autorzy dziękują Panu Rune Groven (Department of Forest Sciences NLH, Ås, Norwegia) za udostępnienie danych klimatycznych ze stacji Åbjørsbråten.

Literatura

- Bednarz Z., Ptak J. 1977. Program komputerowy TREE 0,5-5 do analiz dendrochronologicznych. AR, Kraków.
- Bednarz Z., Jaroszewicz B., Ptak J., Szwaagrzyk J. 1998-1999. Dendrochronology of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Babia Góra National Park, Poland. Dendrochronologia, 16-17, 1998-1999: 45-55.
- Eckstein D., Aniol R. 1981. Dendroclimatological reconstruction of the summer temperatures for an Alpine region. Mitt. der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, 142.
- Feliksik E. 1972. Dendroclimatic studies of spruce (*Picea excelsa* L.). Part I. Studies of spruce in Gąsienicowy Forest in the Tatra Mountains (in Polish, with English summary). Acta Agr. et Silv., Ser. Silv. 12: 39-70.
- Fritts H.C. 1976. Tree Rings and Climate. Academic Press, London, 567 pp.
- Mäkinen H., Nöjd P., Mielikäinen K. 2000. Climatic signal in annual growth variation of Norway spruce (*Picea abies*) along a transect from central Finland to the Arctic timberline. Can. J. For. Res. 30(5): 769-777.
- Martyn D. 1985. Klimaty kuli ziemskiej. PWN, Warszawa, ss. 667.
- Modrzyński J. 1998. Zarys ekologii świerka (W: Boratyński A., Bugała W. Biologia świerka pospolitego) PAN. Instytut Dendrologii. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Pawlaczyk P. 1997. Parki Narodowe u sąsiadów. Norwegia. Przegląd Leśniczy 12/97 (78/VII) s. 14.
- Szychowska-Krapiec E. 1998. Spruce Chronology from Mt Pilsko Area (Żywiec Beskid Range) 1641-1995 AD. Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences, Vol. 46, No. 2.
- Schweingruber F. H., Bräker O.U., Schär E. 1979. Dendroclimatic studies on conifers from Central Europe and Great Britain. Boreas, 8.
- Schweingruber F. H. 1983. Der Jahrring. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, 234 pp.
- Tranquillini W. 1979. Physiological ecology of the alpine timberline. Springer-Verlag, New York.
- Zielski A., Koprowski M. 2001. Dendrochronologiczna analiza przyrostów rocznych świerka pospolitego na Pojezierzu Olsztyńskim. Sylwan 7: 65-73.

SUMMARY

Effect of climatic conditions on the width increment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) from the Ormtjernkampen National Park in Norway

The local absolute (Fig. 3.) and standardised (Fig. 4.) chronologies were developed for the period of 189 years on the basis of measurements of ring widths of 38 spruces growing in the

region of the Ormtjernkampen National Park in Norway. The main statistical indices describing the chronologies of the examined trees were calculated (Table 1). What deserves special attention is the high mean sensitivity accounting for strong responses of spruces to climatic conditions. The standardised widths of annual rings were correlated with the mean monthly air temperatures and monthly atmospheric precipitation sums obtained from the Åbjørsbråten station (Fig. 6, 7). The radial increment depends on a high degree on temperatures in June-July in the year of ring formation ($r=0,65$; $p=0,0001$). The high air temperatures of April in the current year and of June and September in the year prior to ring formation have a limiting effect on radial increment. Intensive atmospheric precipitation in January and March has a positive effect on radial increment of the spruces under study.