

Hubert Lachowicz¹

Wybrane wskaźniki jakości technicznej drewna brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) w północno-wschodniej Polsce

Selected indicators of technical quality of silver birch (*Betula pendula* Roth.) wood in north-eastern Poland

Abstract. Wood resistance and structural parameters with the consideration of the geographical location and tree age were selected for the study of the variability in technical quality of silver birch wood. The study area covered the north-eastern part of the birch timber resource basis in Poland. Trees were sampled at aged 45 and 70 years, in the sites located in the fresh broadleaved forest.

The most important result of the paper is the confirmed significance of both geographical location and tree age for the mean width of annual wood rings. Another finding is the statistically significant effect of geographical location on birch wood density and its mechanical properties. No significant effect of tree age on wood density and mechanical properties of birch wood has been found.

The highest values of resistance to static bending as well as the elasticity coefficient obtained during static bending have been stated for the Sokołów Podlaski Forest District: 131.4 MPa and 14741 MPa, respectively; while the lowest values obtained for the Płońsk Forest District were 121.5 MPa and 13447 MPa, respectively (the differences reaching 8.1% and 9.6%). In the Forest Districts Sokołów Podlaski and Biała Podlaska, the following birch wood parameters had their maximum values: wood density, compression resistance along fibers, static bending and coefficient of elasticity during static bending.

Key words: Silver birch, wood structure

1. Wstęp

Przez długie stulecia surowiec brzozy użytkowany był jako materiał opałowy, zwłaszcza, że zawarte w nim wysokokaloryczne substancje o charakterze tłuszczowym ułatwiają jego palność (Surmiński 1979). Do innych celów, na skalę przemysłową, drewno brzozy rozpoczęto wykorzystywać po pierwszej wojnie światowej (Krzysik 1939; Evtifeeva 1969). Wówczas też pojawiły się pierwsze publikacje naukowe dotyczące wybranych właściwości drewna brzozy. Później właściwości techniczne drewna brzozy były przedmiotem badań różnych autorów. Analizowano wpływ sie-

dliska (Kasesalu 1968), szybkości wzrostu (Perelygin 1953; Sinkewiç 1953), położenia próbek w stosunku do stron świata, odległości od rdzenia i wysokości w pniu (Miler 1961, 1966) oraz kształtu pnia (Miler 1969) i morfologii kory (Raczkowski et al. 1967).

Przedmiotem badań było także porównanie jakości technicznej drewna brzozy brodawkowatej z drewnem brzozy karelskiej (Sokolov 1950) i czeczotowatej (Miler et Jakuszewski 1967).

Na podstawie powyższych badań uważa się, że najwyższe właściwości techniczne posiada drewno brzozy w wieku od pięćdziesięciu do siedemdziesięciu lat. Jednak badania mające na celu poznanie zależności między lo-

¹ Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn, Fax: +48 0227150313, e-mail: H.Lachowicz@ibles.waw.pl

kalizacją i wiekiem drzew a jakością techniczną drewna brzozy brodawkowatej są nieliczne, a niektóre z opublikowanych przed laty wyników ze względu na niejasności metodyczne są często ze sobą sprzeczne lub trudno porównywalne (Lachowicz 2008, 2009).

W podobnych metodycznie badaniach udowodniono istotny wpływ lokalizacji i siedliska na jakość techniczną drewna sosny (Lauron 1973, 1975; Paschalis 1980) i jodły (Królicki 2004). Nie stwierdzono jednak wpływu powyższych czynników na jakość techniczną drewna buka zwyczajnego z północnej i południowej bazy surowcowej (Jednoralski 1993).

2. Cel i zakres badań

Celem pracy było porównanie zmienności wybranych wskaźników jakości technicznej drewna brzozy brodawkowatej, z jednoczesnym uwzględnieniem lokalizacji i wieku drzew na wybranym typie siedliskowym lasu. Poznanie tych związków jest istotnym elementem determinującym właściwości użytkowe drewna, a co się z tym wiąże – możliwości zastosowania drewna oraz jakość produktów z niego otrzymywanych.

Realizacja nakreślonego celu pracy wymagała zbadania cech, które są podstawą do określenia jakości technicznej drewna brzozy. Przez pojęcie „jakość techniczna drewna” rozumiemy zespół cech budowy strukturalnej drewna oraz jego właściwości fizyko-mechaniczne. Przy wyborze wskaźników jakości technicznej kierowano się przede wszystkim możliwością obiektywnego i rzetelnego oddania charakterystycznych właściwości drewna.

Badania przeprowadzono w północno-wschodniej Polsce. Wytypowano 12 powierzchni próbnych, po dwie w każdym z Nadleśnictw: Płońsk, Sokołów Podlaski, Biała Podlaska, Płaska, Giżycko i Górowo Iławskie. Do badań pobrano drewno z drzew rosnących na siedlisku lasu świeżego. Wybrano dwa warianty wiekowe drzewostanów: ok. 45-letni i ok. 70-letni. Ogólna liczba drzew próbnych, z których pobrano materiał do dalszych badań wynosiła 72.

Do badań wytypowano parametry:

a) strukturalne:

- gęstość drewna [kg/m^3],
- średnia szerokość słoja rocznego [mm],

b) mechaniczne:

- wytrzymałość na rozciąganie statyczne drewna [R_{t12}],
- wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien [R_{c12}],
- wytrzymałość na zginanie statyczne [R_{g12}],
- współczynnik sprężystości przy zginaniu statycznym [E_{g12}],

Wybrano te parametry wytrzymałościowe, które są najczęściej badane i w największym stopniu decydują o

zastosowaniu drewna do celów konstrukcyjnych. Wykonano i opisano także po raz pierwszy w Polsce badania wytrzymałości na rozciąganie statyczne drewna liściastego rozprzeczłonaczyniowego.

3. Metodyka badań

Badania laboratoryjne

Próbki pobrano i przygotowano według PN-77/D-04227. Do określenia gęstości drewna użyto próbek służących później oznaczeniu wytrzymałości na zginanie statyczne i współczynnika sprężystości przy zginaniu statycznym ($20 \times 20 \times 300$ mm) przy wilgotności bezwzględnej 12%. Oznaczenie wykonano zgodnie z normą PN-77/D-04101. Pomiary stereometryczne (w kierunku stycznym, promieniowym i wzdłuż włókien) wykonano za pomocą elektronicznej suwmiarki z dokładnością do 0,01 mm. Masę określono na wadze technicznej z dokładnością do 0,001 g. Wilgotność próbek oznaczono zgodnie z normą PN-77/D-04100.

Badanie średniej szerokości słoja rocznego przeprowadzono na próbkach o wymiarach $20 \times 20 \times 30$ mm, które później wykorzystano do oznaczeń ściskania wzdłuż włókien. Szerokość przyrostu rocznego mierzono na przekroju poprzecznym próbek, korzystając z przyrostomierza firmy Codima, z dokładnością do 0,01 mm.

Badania zginania statycznego wykonano według normy PN-77/D-04103, współczynnik sprężystości przy zginaniu statycznym zbadano zgodnie z normą PN-63/D-04117, a ściskanie wzdłuż włókien według normy PN-79/D-04102, przy wilgotności 12%. Wymiary stereometryczne wykonano za pomocą suwmiarki elektronicznej z dokładnością do 0,01 mm. Masę określono na wadze technicznej z dokładnością do 0,001 g. Badania przeprowadzono na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej ZD-10 z ważnym świadectwem legalizacji.

Średnie wartości każdej z badanych właściwości strukturalnych i mechanicznych określono na 1313 próbkach (tab. 1).

Do obliczeń współczynnika sprężystości przy zginaniu statycznym wykorzystano wzór:

$$E_{gi} = \frac{(P_i - P_l) \cdot l^3}{4(f_i - f_l) \cdot b \cdot h^3} \quad (1)$$

gdzie:

E_{gi} – współczynnik sprężystości przy zginaniu statycznym [MPa],

P_i – obciążenie danego zakresu [N],

P_l – obciążenie wstępne [N],

l – rozstaw podpór [mm],

f_i – strzałka ugięcia przy obciążeniu danego zakresu [mm],

Tabela 1. Liczba drzew próbných i wszystkich prób

Table 1. Number of sampled trees and wood samples

Nadleśnictwo Forest district	Wiek Age	Liczba drzew próbných / Liczba próbek drewna Number of sampled trees / Number of wood samples			
		klasy grubości diameter classes			razem total
		I	II	III	
Płońsk	~ 45	2/28	2/44	2/29	6/101
	~ 70	2/28	2/44	2/28	6/100
Sokołów Podlaski	~ 45	2/28	2/44	2/28	6/100
	~ 70	2/28	2/44	2/28	6/100
Biała Podlaska	~ 45	2/28	2/44	2/30	6/102
	~ 70	2/28	2/44	2/28	6/100
Płaska	~ 45	2/26	2/44	2/40	6/110
	~ 70	2/34	2/44	2/45	6/123
Giżycko	~ 45	2/32	2/44	2/40	6/116
	~ 70	2/30	2/46	2/43	6/119
Górowo Iławeckie	~ 45	2/32	2/44	2/44	6/120
	~ 70	2/34	2/44	2/44	6/122
Razem / Total	~ 45	12/174	12/264	12/211	72/1313
	~ 70	12/182	12/266	12/216	

f_l – strzałka ugięcia przy obciążeniu wstępnym [mm],

b – szerokość próbki [mm],

h – wysokość próbki [mm].

Przy obliczaniu wytrzymałości na zginanie statyczne zastosowano wzór:

$$\delta_{bW} = \frac{3P_{\max} l}{2bh^2} \quad (2)$$

gdzie:

δ_{bW} – wytrzymałość na zginanie statyczne [MPa],

P_{\max} – siła niszcząca [N],

pozostałe oznaczenia jak we wzorze 1.

Przy oznaczaniu wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien zastosowano wzór:

$$R_{cW} = \frac{P_{\max}}{ab} \quad (3)$$

gdzie:

R_{cW} – wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien [MPa],

P_{\max} – siła zużyta do zniszczenia próbki [N],

a – wymiar próbki w kierunku promieniowym [mm],

b – wymiar próbki w kierunku stycznym [mm].

Próbki o wymiarach 20×20×300 mm po badaniach wytrzymałości na zginanie statyczne, zostały użyte do wyrobienia próbek na rozciąganie statyczne wzdłuż włókien (Lachowicz 2008a). Materiał do oznaczania wytrzymałości doprowadzono do maksymalnej wilgotności i z tak przygotowanego, na mikrotomie wycinano paski drewna o wymiarach: 5 cm (wzdłuż włókien) × 1 cm

(stycznie do przyrostów) × 100 mikrometrów (grubości). Wycięte zgrubnie paski drewna o układzie włókien równoległym do dłuższej jej krawędzi, przycięto do jednakowych wymiarów (2,66×30 mm) i poddano klimatyzacji w celu osiągnięcia wilgotności 12%. Następnie zmierzono ich grubość w trzech miejscach i zważono w celu określenia gęstości drewna. Po wykonaniu pomiarów grubości i masy próbek, paski drewna przyklejono do metalowych pierścieni i poddano próbie wytrzymałościowej na mikrozrywarce.

Łącznie w badaniach wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien drewna brzozy brodawkowatej pomierzone zostały 864 próbki (każde drzewo reprezentowane było przez 12 próbek, a każda powierzchnia badawcza przez 72 próbki).

Do obliczeń wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien zastosowano wzór:

$$R_{rW} = \frac{P_{\max}}{A} \quad (4)$$

gdzie:

R_{rW} – wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien [MPa],

P_{\max} – siła niszcząca [N],

A – powierzchnia przekroju zrywanej części próbki [mm].

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej, umożliwiającej określenie wpływu zarówno lokalizacji, jak i wieku drzew na poszczególne parametry włókien drzewnych. Posłużono się do tego celu dwuczynnową analizą wariancji.

Porównanie istotności różnic wartości średnich przeprowadzono za pomocą wielokrotnego testu rozstępu Tukey'a. Istotność różnic określano wartościami HSD (Honestly Significant Difference) obliczonymi dla poziomu ufności 95%.

Całość obliczeń i analiz statystycznych wykonano używając programu Statgraphics Plus for Windows 4.0.

4. Wyniki badań i dyskusja

Gęstość drewna

Analizując gęstość drewna w zależności od wieku drzew, najniższą średnią wartość tej cechy – 636 kg/m³, odnotowano w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Płaska, najwyższą – 726 kg/m³, także w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski (tab. 2).

Najmniejsza średnia gęstość drewna brzozy brodawkowatej w zależności od lokalizacji została odnotowana w Nadleśnictwie Płaska – 648 kg/m³, a największa w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski – 708 kg/m³. Różnica wynosiła 9,2% (tab. 2).

Średnia gęstość drewna brzozy brodawkowatej dla przebadanego materiału w północno-wschodniej Polsce wynosiła 681 kg/m³.

Najmniejsza gęstość pojedynczej próbki, jaką zmierzono w badanym materiale, wynosiła 520 kg/m³, a najwyższa – 843 kg/m³.

Średnia wartość gęstości drewna dla całego materiału była wyższa od wartości oznaczonych przez innych autorów. Vorreiter (1949) podał średnią gęstość drewna w wysokości 640 kg/m³, Kollmann (1951) – 650 kg/m³, Wanin (1953) – 640 kg/m³, Galewski i Korzeniowski (1958) – 650 (510–830) kg/m³, Kamiński i Laurow (1966) – 650 kg/m³, Wagenführ (1974) – 650 (510–830) kg/m³, Krzysik (1978) – 650 kg/m³. Wyższą średnią wartość gęstości podał jedynie Miler (1966) – 710 kg/m³. Wszystkie powyższe wartości gęstości podawane przez tych autorów zostały obliczone przy wilgotności 15%.

Analiza statystyczna nie wykazała w badanym materiale istotnego wpływu wieku drzew na średnią wartość gęstości drewna brzozy. Udowodniono natomiast wpływ lokalizacji na wartości średnie badanej cechy (tab. 3). Za istotne uznano różnice wartości pomiędzy Nadleśnictwem Płaska a pozostałymi badanymi nadleśnictwami. Istotne były także różnice gęstości drewna brzozy między nadleśnictwami Giżycko, Górowo Iławeckie i Płońsk a Nadleśnictwem Sokołów Podlaski oraz między nadleśnictwami Giżycko i Górowo Iławeckie a Nadleśnictwem Biała Podlaska. Nie wykazano istotnych różnic między Nadleśnictwem Giżycko a Nadleśnictwem Górowo Iławeckie, pomiędzy Nadleśnictwem Biała Podlaska a nadleśnictwami Płońsk i Sokołów Podlaski, pomiędzy Nadleśnictwem Płońsk a nadleśnictwami Giżycko i Górowo Iławeckie.

Wykazano także istotny wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnią wartość gęstości drewna brzozy. W

Tabela 2. Średnia gęstość drewna [kg/m³]
Table 2. The mean density of wood [kg/m³]

Wiek Age	Klasa grubości* Diameter class*	Nadleśnictwo Forest district					
		Płońsk	Sokołów Podlaski	Biała Podlaska	Płaska	Giżycko	Górowo Iławeckie
~ 45	I	682	719	717	685	665	582
	II	656	775	700	580	656	693
	III	747	655	708	667	676	717
	średnia mean	689	726	707	636	665	672
~ 70	I	691	647	732	705	734	715
	II	670	729	651	673	686	689
	III	699	675	700	612	652	648
	średnia mean	684	691	687	659	686	681
Średnia dla nadleśnictwa Mean for forest district		686	708	697	648	676	677
Średnia dla całego zbadanego materiału Mean for all investigated material		681					

* I – drzewa najcieńsze, II – drzewa średnio grube, III – drzewa najgrubsze

* – the thinnest trees, II – trees of average thickness, III – the thickest trees

Tabela 3. Wpływ lokalizacji i wieku drzew na gęstość drewna (dwuczynnikowa analiza wariancji)

Table 3. Influence of location and age of trees on wood density (two-factor analysis of variance)

Źródło zmienności Source of variation	Suma kwadratów odchyleń Sum of squares	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat odchyleń Mean square	F empiryczne F empirical	Poziom istotności Significance level
A – lokalizacja A – Location	476988,0	5	95397,6	30,01	0,0000
B – wiek B – age	476,463	1	476,463	0,15	0,6986
Interakcja AB Interaction AB	142302,0	5	28460,4	8,95	0,0000
Błąd Standard error	4,13518·106	1301	3178,46	×	×
Zmienność całkowita Total (corrected)	4,74568·106	1312	×	×	×

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05 / Detailed comparison of average values using the Tukey's test with the significance level 0.05:

$$HSD_A = (14,7342 \div 16,0682)$$

$$HSD_B = 6,09935$$

nadleśnictwach Płońsk, Sokołów Podlaski i Biała Podlaska średnia gęstość drewna malała wraz z wiekiem, natomiast w nadleśnictwach Płaska, Giżycko i Górowo Iławeckie – rosła.

Średnia szerokość słoja rocznego

Porównując średnią szerokość słoja rocznego drewna brzozy brodawkowatej w zależności od wieku drzew, najniższą wartość tej cechy zanotowano w drzewostanie starszym Nadleśnictwa Giżycko – 1,41 mm, a najwyższą w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Płaska – 2,29 mm (tab. 4).

Biorąc pod uwagę lokalizację stwierdzono, że najniższa wartość średniej szerokości słoja rocznego była w Nadleśnictwie Giżycko – 1,77 mm, a najwyższa – 2,02 mm w Nadleśnictwie Płaska. Różnica stanowiła 14,1% (tab. 4).

Średnia szerokość słoja rocznego drewna brzozy brodawkowatej dla całego przebadanego materiału wyniosła 1,89 mm.

Najmniejsza szerokość słoja rocznego pojedynczej próbki, jaką zmierzono w całym materiale wynosiła 0,68 mm a największa 4,70 mm.

Dane literaturowe podają następujące wartości średniej szerokości słoja rocznego drewna brzozy: 2,5 mm (Wanin 1953) oraz od ok. 0,06 mm u form krzewiastych brzozy do 4–5 mm u drzew (Hall 1952). Fabisiak (2005) podaje, że szerokość przyrostów rocznych drewna brzozy brodawkowatej zmniejsza się od rdzenia do obwodu w przedziale od 4,5 mm do 1 mm.

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała istotny wpływ zarówno wieku drzew jak i lokalizacji na średnią szerokość słoja rocznego drewna brzozy (tab. 5). Średnia szerokość słoja rocznego była większa u drzew młodszych.

Porównanie średnich wartości szerokości słoja rocznego w poszczególnych nadleśnictwach wykazało istotne różnice pomiędzy Nadleśnictwem Biała Podlaska a Nadleśnictwem Płaska, między Nadleśnictwem Giżycko a nadleśnictwami Górowo Iławeckie i Płaska, między Nadleśnictwem Górowo Iławeckie a nadleśnictwami Płońsk i Sokołów Podlaski oraz między Nadleśnictwem Płaska a nadleśnictwami Płońsk i Sokołów Podlaski. Nie wykazano istotnych różnic statystycznych między Nadleśnictwem Biała Podlaska a nadleśnictwami Giżycko, Górowo Iławeckie, Płońsk i Sokołów Podlaski. Istotnych różnic nie ma także między Nadleśnictwem Giżycko a nadleśnictwami Płońsk i Sokołów Podlaski, między Nadleśnictwem Górowo Iławeckie a Nadleśnictwem Płaska oraz między Nadleśnictwem Płońsk a Nadleśnictwem Sokołów Podlaski.

Udowodniono także istotny jednoczesny wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnią szerokość słoja rocznego. W Nadleśnictwie Sokołów Podlaski średnia szerokość słoja rocznego rosła wraz z wiekiem. W pozostałych nadleśnictwach było odwrotnie.

Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien

Najmniejszą wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien drzewnych, biorąc pod uwagę wiek drzew, miało drewno z drzewostanu młodszego w Nadleśnictwie Płońsk

Tabela 4. Średnia szerokość słoja rocznego [mm]

Table 4. The average width of annual rings [mm]

Wiek Age	Klasa grubości* Diameter classes*	Nadleśnictwo Forest district					
		Płońsk	Sokołów Podlaski	Biała Podlaska	Płaska	Giżycko	Górowo Haweckie
~ 45	I	1,58	1,42	1,90	1,72	1,63	2,25
	II	2,03	1,53	2,10	2,13	2,06	1,91
	III	2,08	2,45	2,13	2,84	2,67	2,27
	średnia mean	1,92	1,76	2,05	2,29	2,15	2,13
~ 70	I	1,73	1,70	1,19	1,02	1,24	1,62
	II	1,87	2,04	1,84	1,85	1,27	1,67
	III	1,44	1,96	1,79	2,29	1,66	2,19
	średnia mean	1,71	1,92	1,64	1,78	1,41	1,84
Średnia dla Nadleśnictwa Mean for forest district		1,81	1,84	1,85	2,02	1,77	1,99
Średnia dla całego zbadanego materiału Mean for all investigated material		1,89					

* I – drzewa najcieńsze, II – drzewa średnio grube, III – drzewa najgrubsze

* – the thinnest trees, II – trees of average thickness, III – the thickest trees

Tabela 5. Wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnią szerokość słoja rocznego (dwuczynnikowa analiza wariancji)

Table 5. Influence of location and age of trees on average width of annual rings (two-factor analysis of variance)

Źródło zmienności Source of variation	Suma kwadratów odchyłeń Sum of squares	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat odchyłeń Mean square	F empiryczne F empirical	Poziom istotności Significance level
A – lokalizacja A – location	12,394	5	2,47881	9,01	0,0000
B – wiek B – age	36,1178	1	36,1178	131,22	0,0000
Interakcja AB Interaction AB	25,3816	5	5,07632	18,44	0,0000
Błąd Standard error	358,095	1301	0,275246		
Zmienność całkowita Total (corrected)	434,539	1312			

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05 / Detailed comparison of average values using the Tukey's test with the significance level 0.05:

HSD_A=(0,137113 ÷ 0,149527)HSD_B=0,05675

– 175,7 MPa, a największą – 216,2 MPa, z drzewostanu starszego w Nadleśnictwie Płaska (tab. 6).

Biorąc pod uwagę lokalizację, najmniejszą średnią wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien stwierdzono w przypadku drewna w Nadleśnictwie Płońsk – 182,2 MPa, a największą – 212,0 MPa, w Nadleśnictwie Płaska. Różnica wyniosła 16,3% (tab. 6).

Średnia wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien wszystkich badanych próbek drewna brzozy brodawkowatej wyniosła 201,4 MPa. W przypadku pojedynczych próbek najmniejsza obliczona wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien wyniosła 91,3 MPa, a największa – 378,3 MPa.

Tabela 6. Średnia wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien R_{r12} [MPa]Table 6. Average tensile strength parallel to the grain R_{r12} [MPa]

Wiek Age	Klasa grubości* Diameter class*	Nadleśnictwo Forest district					
		Płońsk	Sokołów Podlaski	Biała Podlaska	Płaska	Giżycko	Górowo Iławeckie
~ 45	I	183,3	254,2	223,6	229,6	240,8	159,8
	II	156,5	200,6	207,6	172,7	207,5	219,1
	III	187,3	183,3	215,5	221,3	198,5	154,4
	średnia / mean	175,7	212,7	215,5	207,8	215,6	177,8
~ 70	I	222,4	212,5	218,3	237,5	213,5	225,1
	II	163,6	222,6	187,1	206,9	211,5	185,6
	III	179,8	193,5	199,5	204,3	178,0	174,7
	średnia / mean	188,6	209,6	201,6	216,2	200,9	195,1
Średnia dla Nadleśnictwa Mean for forest district		182,2	211,1	208,6	212,0	208,2	186,5
Średnia dla całego zbadanego materiału Mean for all investigated material				201,4			

* I – drzewa najcieńsze, II – drzewa średnio grube, III – drzewa najgrubsze

* – the thinnest trees, II – trees of average thickness, III – the thickest trees

Tabela 7. Wpływ lokalizacji i wieku drzew na wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien R_{r12} (dwuczynnikowa analiza wariancji)Table 7. Influence of location and age of trees on tensile strength parallel to the grain R_{r12} (two-factor analysis of variance)

Źródło zmienności Source of variation	Suma kwadratów odchyłeń Sum of squares	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat odchyłeń Mean square	F empiryczne F empirical	Poziom istotności Significance level
A – lokalizacja A – location	129530,0	5	25906,0	13,98	0,0000
B – wiek B – age	294,117	1	294,117	0,16	0,6904
Interakcja AB Interaction AB	34200,8	5	6840,16	3,69	0,0026
Błąd Standard error	1,57923·10 ⁶	852	1853,55		
Zmienność całkowita Total (corrected)	1,74325·10 ⁶	863			

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05 / Detailed comparison of average values using the Tukey's test with the significance level 0.05:

HSD_A=14,4904HSD_B=5,74149

Analiza statystyczna nie wykazała w badanym materiale istotnego wpływu wieku drzew na średnią wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż włókien. Udowodniono natomiast wpływ lokalizacji na wartości średnie badanej cechy (tab. 7). Za istotne różnice uznano wartości między nadleśnictwami Płońsk i Górowo Iławeckie a nadleśnictwami Giżycko, Biała Podlaska, Sokołów Podlaski i Płaska. Nie wykazano istotnych różnic między nadleśnictwami Płońsk a Górowo Iławeckie oraz pomiędzy nadleśnictwami Giżycko, Biała Podlaska, Sokołów Podlaski i Płaska.

Wykazano także, istotny, jednoczesny wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnie wartości wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien. Wraz z wiekiem średnie wartości badanej cechy rosną w nadleśnictwach Płońsk, Płaska i Górowo Iławeckie. W nadleśnictwach Sokołów

Tabela 8. Średnia wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien Rc12 [MPa]

Table 8. Average compression strength Rc12 [MPa]

Wiek Age	Klasa grubości* Diameter class*	Nadleśnictwo Forest district					
		Płońsk	Sokołów Podlaski	Biała Podlaska	Płaska	Giżycko	Górowo Iławecki e
~ 45	I	68,4	67,1	70,0	66,5	63,6	53,5
	II	61,6	70,6	67,2	54,5	65,3	62,6
	III	65,1	61,5	65,3	63,1	64,8	63,0
	średnia / mean	64,5	67,1	67,4	60,5	64,7	60,3
~ 70	I	64,2	60,1	68,4	72,4	68,8	72,3
	II	66,6	67,6	61,0	65,1	66,9	65,5
	III	63,2	62,9	63,1	57,8	59,1	60,5
	średnia / mean	65,0	64,2	63,6	64,4	64,6	65,6
Średnia dla Nadleśnictwa Mean for forest district		64,7	65,6	65,5	62,6	64,6	63,0
Średnia dla całego zbadanego materiału Mean for all investigated material		64,3					

* I – drzewa najcieńsze, II – drzewa średnio grube, III – drzewa najgrubsze

* I – the thinnest trees, II – trees of average thickness, III – the thickest trees

Podlaski, Biała Podlaska i Giżycko im starszy drzewostan średnie wartości wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien maleją.

Badania wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien mają charakter nowatorski, dlatego otrzymane wyniki nie mogą być odniesione do innych badań.

Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien

Analizując wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien drewna w zależności od wieku drzew stwierdzono, że najniższą średnią wartość tej cechy miało drewno w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Górowo Iławeckie – 60,3 MPa, a najwyższą – 67,4 MPa, także w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Biała Podlaska (tab. 8).

Biorąc pod uwagę lokalizację, stwierdzono, że najmniejszą średnią wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien miało drewno w Nadleśnictwie Płaska – 62,6 MPa, a największą – 65,6 MPa, drewno w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski. Różnica wyniosła 4,8% (tab. 8).

Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien pojedynczych próbek zawierała się w granicach 46,1–83,1 MPa. Średnia dla wszystkich badanych próbek drewna brzozy brodawkowatej wyniosła 64,3 MPa i była wyższa od wartości podanych przez innych autorów. Vorreiter (1949) podał średnią wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien w wysokości 43,0 MPa (wilgotność 15%), Kollmann (1951) – 51,0 (38,0–100,0) MPa, przy wilgotności 12% (11–19%), Wanin (1953) – 52,2 MPa (wilgotność

15%), Galewski i Korzeniowski (1958) – 51,0 (32,5–100,0) MPa, przy wilgotności 12% (11–19%), Kamiński i Laurow (1966) – 51,0 MPa (wilgotność 12%), Miler (1966) – 53,1 MPa (wilgotność 15%), Wagenführ (1974) – 51,0 (38,0–100,0) MPa, przy wilgotności 12% (11–19%), Krzysik (1978) – 43,0 (32,5–85,0) MPa (wilgotność 15%).

Analiza statystyczna nie wykazała w badanym materiale istotnego wpływu wieku drzew na średnią wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien. Udowodniono natomiast wpływ lokalizacji na wartość średnią badanej cechy (tab. 9). Istotne były różnice tej cechy między nadleśnictwami Płaska i Górowo Iławeckie a nadleśnictwami Giżycko, Płońsk, Biała Podlaska i Sokołów Podlaski. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy nadleśnictwami Płaska a Górowo Iławeckie oraz pomiędzy nadleśnictwami Giżycko, Płońsk, Biała Podlaska i Sokołów Podlaski.

Udowodniono także istotny jednoczesny wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnią wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien. W nadleśnictwach Płaska i Górowo Iławeckie średnia wytrzymałość na ściskanie była większa w drzewostanach starszych. W Nadleśnictwie Płońsk było podobnie, choć nieznacznie. W Nadleśnictwie Giżycko wytrzymałość ta była nieznacznie większa w drzewostanie młodszym, a w nadleśnictwach Biała Podlaska i Sokołów Podlaski zdecydowanie większa w drzewostanie młodszym.

Tabela 9. Wpływ lokalizacji i wieku drzew na wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien R_{c12} (dwuczynnikowa analiza wariancji)Table 9. Influence of location and age of trees on compression strength along the wood fibers R_{c12} (two-factor analysis of variance)

Źródło zmienności Source of variation	Suma kwadratów odchyłeń Sum of squares	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat odchyłeń Mean square	F empiryczne F empirical	Poziom istotności Significance level
A – lokalizacja A – Location	1944,58	5	388,915	9,85	0,0000
B – wiek B – Age	81,5801	1	81,5801	2,07	0,1506
Interakcja AB Interaction AB	3554,83	5	710,966	18,00	0,0000
Błąd Standard error	51376,0	1301	39,4896		
Zmienność całkowita Total (corrected)	56951,0	1312			

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05 / Detailed comparison of average values using the Tukey's test with the significance level 0.05

 $HSD_A = (1,64232 \div 1,79102)$ $HSD_B = 0,679855$ **Tabela 10. Średnia wytrzymałość na zginanie statyczne R_{g12} [MPa]**Table 10. Average static bending strength R_{g12} [MPa]

Wiek Age	Klasa grubości* Diameter class*	Nadleśnictwo Forest district					
		Płońsk	Sokołów Podlaski	Biała Podlaska	Płaska	Giżycko	Górowo Iławeckie
~ 45	I	129,8	135,1	133,8	134,0	126,9	103,7
	II	118,1	144,3	127,8	108,3	124,0	131,5
	III	130,7	117,3	131,5	123,1	125,6	129,7
	średnia mean	125,0	134,2	130,5	119,7	125,4	123,4
~ 70	I	117,3	119,3	140,3	143,6	135,4	139,8
	II	115,9	136,1	120,1	129,3	129,2	127,5
	III	122,0	126,4	128,0	113,9	113,1	117,3
	średnia mean	118,0	128,7	128,0	127,6	125,0	127,2
Średnia dla Nadleśnictwa Mean for forest district		121,5	131,4	129,3	123,9	125,2	125,3
Średnia dla całego zbadanego materiału Mean for all investigated material				126,0			

* I – drzewa najcieńsze, II – drzewa średnio grube, III – drzewa najgrubsze

* I – the thinnest trees, II – trees of average thickness, III – the thickest trees

Wytrzymałość na zginanie statyczne

Analizując wytrzymałość na zginanie statyczne drewna brzozy w zależności od wieku drzew stwierdzono, że najniższą średnią wartość tej cechy miało drewno w

drzewostanie starszym w Nadleśnictwie Płońsk – 118,0 MPa, a najwyższą – 134,2 MPa, w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski (tab. 10).

Biorąc pod uwagę lokalizację stwierdzono, że najniższą średnią wytrzymałość na zginanie statyczne miało

Tabela 11. Wpływ lokalizacji i wieku drzew na wytrzymałość na zginanie statyczne R_{g12} (dwuczynnikowa analiza wariancji)Table 11. Influence of location and age of trees on static bending strength R_{g12} (two-factor analysis of variance)

Źródło zmienności Source of variation	Suma kwadratów odchyień Sum of squares	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat odchyień Mean square	F empiryczne F empirical	Poziom istotności Significance level
A – lokalizacja A – Location	13605,7	5	2721,15	13,75	0,0000
B – wiek B – Age	125,285	1	125,285	0,63	0,4262
Interakcja AB Interaction AB	8716,81	5	1743,36	8,81	0,0000
Błąd Standard error	257461,0	1301	197,895		
Zmienność całkowita Total (corrected)	279570,0	1312			

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05 / Detailed comparison of average values using the Tukey's test with the significance level 0.05:

$$HSD_A = (3,6765 \div 4,00937)$$

$$HSD_B = 1,52192$$

drewno w Nadleśnictwie Płońsk – 121,5 MPa, a najwyższą w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski – 131,4 MPa. Różnica wynosiła 8,1% (tab. 10).

Wytrzymałość na zginanie statyczne pojedynczej próbki wynosiła od 84,0 MPa do 167,0 MPa. Średnia wartość tej cechy dla brzozy brodawkowatej w północno-wschodniej Polsce wyniosła 126,0 MPa. Vorreiter (1949) podał, że wytrzymałość na zginanie statyczne drewna brzozy wynosi 125,0 MPa (wilgotność 15%), Kollmann (1951) – 147,0 (76,0–155,0) MPa, przy wilgotności 12% (11–19%), Wanin (1953) – 97,2 MPa (wilgotność 15%), Galewski i Korzeniowski (1958) – 147,0 (65,0–155,0) MPa, przy wilgotności 12 (11–19%), Kamiński i Laurow (1966) – 147,0 MPa (wilgotność 12%), Miler (1966) – 103,3 MPa (wilgotność 15%), Wagenführ (1974) – 147,0 (76,0–155,0) MPa, przy wilgotności 12 (11–19%), Krzysik (1978) – 125,0 (65,0–140,0) MPa (wilgotność 15%).

Analiza statystyczna nie wykazała w badanym materiale istotnego wpływu wieku drzew na wytrzymałość na zginanie statyczne, natomiast istotny był wpływ lokalizacji (tab. 11). Istotne różnice odnotowano pomiędzy Nadleśnictwem Biała Podlaska a nadleśnictwami Płońsk, Płaska, Giżycko i Górowo Iławeckie. Istotne różnice stwierdzono także między Nadleśnictwem Sokołów Podlaski a nadleśnictwami Płaska, Płońsk, Górowo Iławeckie i Giżycko oraz pomiędzy Nadleśnictwem Płońsk a Nadleśnictwem Górowo Iławeckie. Istotnych różnic nie wykazano pomiędzy Nadleśnictwem Sokołów Podlaski a Nadleśnictwem Biała Podlaska, pomiędzy Nadleśnictwem Giżycko a nadleśnictwami Górowo Iławeckie, Płaska, Płońsk, pomiędzy Nadleśnictwem Górowo Iławe-

ckie a Nadleśnictwem Płaska oraz pomiędzy Nadleśnictwem Płaska a Nadleśnictwem Płońsk.

Udowodniono także istotny jednoczesny wpływ lokalizacji i wieku drzew na wytrzymałość drewna na zginanie statyczne. Średnia wytrzymałość drewna zwiększała się wraz z wiekiem drzewostanów w nadleśnictwach Płaska i Górowo Iławeckie, nieznacznie malała w Nadleśnictwie Giżycko, a zdecydowanie malała w nadleśnictwach Płońsk, Sokołów Podlaski i Biała Podlaska.

Współczynnik sprężystości przy zginaniu statycznym

Współczynnik sprężystości przy zginaniu statycznym był najmniejszy – biorąc pod uwagę wiek drzew – w drzewostanie starszym w Nadleśnictwie Płońsk i wynosił 13053 MPa, a największy – 15036 MPa, w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski (tab. 12).

W zależności od lokalizacji, najniższy współczynnik sprężystości przy zginaniu statycznym miało drewno w Nadleśnictwie Płońsk – 13447 MPa, a najwyższy w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski – 14741 MPa. Różnica stanowiła 9,6% (tab. 12).

Średnia wartość współczynnika sprężystości przy zginaniu statycznym drewna brzozy brodawkowatej w północno-wschodniej Polsce wynosiła 14087 MPa, przy rozpiętości od 9139 MPa do 19279 MPa w przypadku pojedynczych próbek.

Poniżej, dla porównania przedstawiono wartości współczynnika sprężystości przy zginaniu statycznym drewna brzozy oznaczone przez innych autorów: Vorreiter (1949) oznaczył współczynnik sprężystości przy

Tabela 12. Średni współczynnik sprężystości przy zginaniu statycznym E_{g12} [MPa]Table 12. Average modulus of elasticity E_{g12} [MPa]

Wiek Age	Klasa grubości* Diameter class*	Nadleśnictwo Forest district					
		Płońsk	Sokołów Podlaski	Biała Podlaska	Płaska	Giżycko	Górowo Iławeckie
~ 45	I	14272	15167	15635	15229	14007	11126
	II	13280	15931	14664	12585	14253	14145
	III	14178	13498	14700	14158	14463	13926
	średnia mean	13813	15036	14941	13782	14258	13260
~ 70	I	13421	13667	15791	15726	14981	15716
	II	13127	15097	13559	14551	14857	14069
	III	12659	14205	14097	12767	12132	12928
	średnia mean	13053	14447	14335	14223	13904	14116
Średnia dla Nadleśnictwa Mean for forest district		13447	14741	14641	14015	14078	13692
Średnia dla całego zbadanego materiału Mean for all investigated material		14087					

* I – drzewa najcieńsze, II – drzewa średnio grube, III – drzewa najgrubsze

* I – the thinnest trees, II – trees of average thickness, III – the thickest trees

Tabela 13. Wpływ lokalizacji i wieku drzew na współczynnik sprężystości przy zginaniu statycznym E_{g12} (dwuczynnikowa analiza wariancji)Table 13. Influence of location and age of trees on modulus of elasticity E_{g12} (two-factor analysis of variance)

Źródło zmienności Source of variation	Suma kwadratów odchyłeń Sum of squares	Liczba stopni swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat odchyłeń Mean square	F empiryczne F empirical	Poziom istotności Significance level
A – lokalizacja A – Location	2,6989·10 ⁸	5	5,3978·10 ⁷	22,00	0,0000
B – Wiek B – Age	8,80449·10 ⁶	1	8,80449·10 ⁶	3,59	0,0582
Interakcja AB Interaction AB	1,21185·10 ⁸	5	2,42371·10 ⁷	9,88	0,0000
Błąd Standard error	3,19154·10 ⁹	1301	2,45315·10 ⁶		
Zmienność całkowita Total (corrected)	3,58669·10 ⁹	1312			

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05: / Detailed comparison of average values using the Tukey's test with the significance level 0,05:

HSD_A=(409,335 ÷ 446,396)HSD_B=169,448

zginaniu statycznym drewna brzozy w wysokości 16500 MPa (wilgotność 15%), Kollmann (1951) – 16500 MPa (wilgotność 12%), Leontev (1952) – 1240 MPa (wilgotność 15%), Galewski i Korzeniowski (1958) – 16500 MPa (wilgotność 15%), Kamiński i Laurow (1966) – 16500 MPa (wilgotność 15%), Wagenführ (1974) –

14500–16500 MPa (wilgotność 12%), Krzysik (1978) – 16500 MPa (wilgotność 15%).

Analiza statystyczna nie wykazała w badanym materiale istotnego wpływu wieku drzew na średnie wartości współczynnika sprężystości przy zginaniu statycznym. Udowodniono natomiast wpływ lokalizacji na średnie wartości badanej cechy (tab. 13). Istotne różnice

stwierdzono pomiędzy Nadleśnictwem Biała Podlaska a nadleśnictwami Giżycko, Górowo Iławeckie, Płaska i Płońsk, a także między Nadleśnictwem Sokołów Podlaski a nadleśnictwami Giżycko, Górowo Iławeckie Płaska i Płońsk, oraz między Nadleśnictwem Płaska a Nadleśnictwem Płońsk i między Nadleśnictwem Płońsk a Nadleśnictwem Giżycko. Nie wykazano istotnych różnic między średnimi wartościami współczynnika sprężystości drewna z Nadleśnictwa Biała Podlaska a Nadleśnictwa Sokołów Podlaski. Nie stwierdzono także istotnych różnic współczynnika sprężystości drewna między Nadleśnictwem Giżycko a nadleśnictwami Górowo Iławeckie i Płaska oraz między Nadleśnictwem Górowo Iławeckie a nadleśnictwami Płaska i Płońsk.

Udowodniono także istotny jednoczesny wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnie wartości współczynnika sprężystości przy zginaniu statycznym. W nadleśnictwach Płaska i Górowo Iławeckie wraz z wiekiem drzewostanu średnie wartości badanej cechy rosły. W nadleśnictwach Płońsk, Sokołów Podlaski, Biała Podlaska i Giżycko średnie wartości współczynnika sprężystości przy zginaniu statycznym wraz z wiekiem malały.

5. Wnioski

Analiza wyników badań wybranych wskaźników strukturalnych i mechanicznych drewna brzozy brodawkowatej, charakteryzujących jego jakość techniczną, w zależności od lokalizacji i wieku drzew pozwala na sformułowanie następujących wniosków.

1. Stwierdzono istotny wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnią szerokość słoja rocznego oraz istotny wpływ lokalizacji na gęstość drewna i właściwości mechaniczne drewna brzozy.

2. Nie stwierdzono istotnego wpływu wieku drzew na gęstość i właściwości mechaniczne drewna brzozy.

3. Najwyższą średnią wartość wytrzymałości na zginanie statyczne i współczynnik sprężystości przy zginaniu statycznym miało drewno w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski (odpowiednio 131,4 MPa i 14741 MPa), a najniższą w Nadleśnictwie Płońsk (odpowiednio 121,5 MPa i 13447 MPa). Różnice stanowiły odpowiednio 8,1 i 9,6%.

4. Najwyższą średnią wartość wskaźników jakości technicznej takich jak: gęstość drewna, wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien, zginanie statyczne i współczynnik sprężystości przy zginaniu statycznym, miało drewno w nadleśnictwach Sokołów Podlaski i Biała Podlaska, natomiast największą średnią wartość szerokości słoja rocznego i wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż włókien – drewno w Nadleśnictwie Płaska.

5. Wydaje się zasadne rozszerzenie badań nad jakością techniczną drewna brzozy brodawkowatej, według powyższej metodyki pracy, na wszystkie bazy surowcowe tego gatunku, co pozwoliłoby na pełniejsze i bardziej racjonalne, gospodarcze wykorzystanie surowca brzożowego w Polsce.

Literatura

- Evstifeeva T. V. 1969. Bereza kak promyslennoe syre. *Lesnaâ Promyslennost'*, 12: 27.
- Fabisiak E. 2005. Zmienność podstawowych elementów anatomicznych i gęstości drewna wybranych gatunków drzew. *Roczniki Naukowe Akademii Rolniczej w Poznaniu, Rozprawy Naukowe*, 369: 1–176.
- Galewski W., Korzeniowski A. 1958. Atlas najważniejszych gatunków drewna. Warszawa, PWRiL.
- Hall J. W. 1952. The comparative anatomy and phylogeny of the *Betulaceae*. *Botanical Gazette*, 113, 3: 235–270.
- Jednoralski G. 1993. Wybrane wskaźniki jakości technicznej drewna buka (*Fagus sylvatica* L.) z północnej i południowej bazy surowcowej w Polsce. Rozprawa doktorska. SGGW, Warszawa.
- Kamiński E., Laurow Z. 1966. Główne użytkowanie lasu. 1. Nauka o surowcu drzewnym. Warszawa, Wydawnictwo SGGW.
- Kasesalu A. A. 1968. O fiziko-mehaničeskikh svojstvach berezovoj drevesiny v alvarnych lesah. *Lesnoe Chemičeskoje Hozâjstvo*, Z, 2: 104–105.
- Kollmann F. 1951. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Springer – Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, J. F. Bergmann, München.
- Króllicki A. 2004. Zróznicowanie właściwości technicznych drewna *Abies alba* L. i kształtowanie się rynku drewna jodłowego w Polsce. Rozprawa doktorska. SGGW, Warszawa.
- Krzysik F. 1939. Zagadnienie surowca brzożowego. *Las Polski*, 3: 105–110.
- Krzysik F. 1978. Nauka o drewnie. Warszawa, PWN.
- Lachowicz H. 2008. Zmienność jakości technicznej drewna brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) w północno-wschodniej Polsce. Rozprawa doktorska. SGGW, Warszawa.
- Lachowicz H. 2008a. Tensile strength parallel to the grain of silver birch wood in north-eastern Poland. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology*, 64: 5–8.
- Lachowicz H. 2010. Struktura włókien drewna brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) w północno-wschodniej Polsce. *Leśne Prace Badawcze*, 71 (1): 39–50.
- Laurow Z. 1973. Zmienność niektórych cech drewna sosnowego w zależności od pochodzenia. *Przegląd papierniczy*, 10: 8–12.
- Laurow Z. 1975. Kształtowanie się jakości technicznej drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) pochodzącej z wybranych siedlisk Puszczy Piskiej. *Zeszyty Naukowe SGGW – AR*, Warszawa, Rozprawy Naukowe, 56.

- Leontev H. L. 1952. Uprugie deformacii drevesiny. Moskva-Leningrad.
- Miler Z. 1961. Badania własności technicznych drewna brzozy brodawkowatej i omszonej – *Betula verrucosa* Ehrh. i *Betula pubescens* Ehrh. Rozprawa doktorska. Akademia Rolnicza, Poznań.
- Miler Z. 1966. Badania nad własnościami drewna brzozy brodawkowatej i omszonej. *Folia Forestalia Polonica, Seria B*, 7: 135–159.
- Miler Z. 1969. Wytrzymałość na zginanie statyczne drewna brzozy brodawkowatej i omszonej w świetle współczynnika pełności. *Zeszyty Naukowe WSR w Krakowie – Leśnictwo*, 4: 131–142.
- Miler Z., Jakuszewski T. 1967. Niektóre własności techniczne drewna brzozy czeczotowatej z Górców. *Sylwan*, 2: 51–56.
- Paschalis P. 1980. Zmienność jakości technicznej drewna sosny pospolitej we wschodniej części Polski. *Sylwan*, 1: 29–44.
- Pereygin L. A. 1953. Izmenenie fiziko-mehaničeskich svojstv drevesiny sosny i berėzy po klassam rozvitiâ i vozrasta. *Lesnoe Hozâjstvo*, 5: 135.
- Raczkowski J., Raczkowska L., Kokociński W. 1967. Badania porównawcze podstawowych właściwości drewna grabu i brzozy z punktu widzenia jego przydatności do wyrobu mechanizmów pianinowych. Instytut Tworzyw Drzewnych AR w Poznaniu, maszynopis.
- Sinkiewiç A. L. 1953. Fyzyko-mehaničeskie svojstva drevesiny berezy w svâzi z usloviâmi proizrastaniâ. *Lesnoe Hozâjstvo*, 5: 344.
- Sokolov N. O. 1950. Karelskaâ bereza. Petrozavodsk, 1–114.
- Surmiński J. 1979. Właściwości techniczne drewna brzozy i możliwości jego użytkowania. [W:] Brzozy. Warszawa-Poznań. PWN.
- Vorreiter L. 1949. Holztechnologisches Handbuch. Band I: Allgemeines, Holzkunde, Holzschutz und Holzvergütung. Verlag Georg Fromme & Co., Wien.
- Wagenführ R., Scheiber Chr. 1974. Holzatlas. VEB Fachbuchverlag, Leipzig.
- Wanin S. 1953. Nauka o drewnie. Warszawa, PWRiL.