

Hubert Lachowicz¹

Struktura włókien drewna brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) w północno-wschodniej Polsce

Structure of silver birch wood fibers (*Betula pendula* Roth.) in north-eastern Poland

Abstract. Forests of north-eastern Poland are the main raw base of birch. Wood samples were collected from 45 and 70-year-old trees, growing on fresh broadleaved forest site. Statistical analysis was performed for parameters as follows: length, diameter, dimension, thickness of the cell wall, felting index and Runkel rigidity index.

Significant influence of location and age of trees on all wood fibers parameters except influence of age on fibers diameter were stated.

The highest felting index of wood fibers had birch wood coming from the Płońsk Forest District – 73,27 (the longest fibers and the smallest fibers diameter). The highest Runkel rigidity index of wood fibers was noted in the Giżycko Forest District (the thickest fiber walls) – 5,18.

Key words: wood anatomic features, wood structure, wood fibers

1. Wstęp

Brzoza brodawkowata (*Betula pendula* Roth.) występuje w całej Europie. Na północy obejmuje Wielką Brytanię i Irlandię, znaczną część Półwyspu Skandynawskiego i europejską część Rosji do 65° szerokości geograficznej północnej. Na zachodzie sięga po Atlantyk, na Półwyspie Iberyjskim rośnie w północno-wschodniej Hiszpanii, w Pirenejach. Na południu granica zasięgu brzozy brodawkowatej przebiega począwszy od Pirenejów poprzez południową Francję, Korsykę, północne Włochy, Serbię, Grecję, Azję Mniejszą i Armenię. Na wschód od Uralu linia zasięgu wznosi się ku północy i na Syberii obejmuje dopływy Jeniseju po 105° długości geograficznej wschodniej i biegnie wzdłuż północnego koła podbiegunowego (Browicz 1979).

W Europie brzoza brodawkowata występuje przeważnie na niżu i w niższych położeniach górskich, do 1400 m n.p.m. W Alpach Szwajcarskich dochodzi do

wysokości 1950 m n.p.m., a najwyżej dociera do 2176 m n.p.m. na stokach Etny na Sycylii.

Optymalne warunki wzrostu znajduje w chłodnym i wilgotnym klimacie krajów nadbałtyckich i wykształca tu drzewostany lite. W Polsce rozprzestrzeniona jest na terenie całego kraju. W górach rośnie w reglu dolnym, rzadziej w górnym. Górna granica brzozy brodawkowatej jest zbliżona do granicy brzozy omszonej, np. na Policy – 1300 m n.p.m., w Gorcach – 1270 m n.p.m., w Tatrach – 1190 m n.p.m. W Wysokich Tatrach sięga maksymalnie do 1478 m n.p.m.

Szerokie granice zasięgu występowania brzozy brodawkowatej wskazują na dużą zdolność przystosowania się tego gatunku do różnych warunków klimatycznych. Brzoza znosi gorące letnie upały i bardzo mroźne zimy. Wykazuje cechy gatunku dostosowanego do klimatu kontynentalnego.

Rośnie zarówno na ubogich suchych piaskach, jak i na najżyźniejszych siedliskach lasu mieszanego i liściastego. Najczęściej występuje na glebach lekkich, umiar-

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

kowanie wilgotnych, niezbyt suchych, głównie piaskach gliniastych. Przy wysokim poziomie wody gruntowej, na siedliskach umiarkowanie ubogich, ustępuje brzozie omszonej (Zarzycki 1979).

W Polsce brzoza, obok dębów i buka, jest najważniejszym gatunkiem liściastym. Powierzchnia zajęta przez ten gatunek wynosi 411,3 tys. ha, co stanowi 5,9% ogólnej powierzchni leśnej (stan na 1.01.2004 r.) i jest mniejsza tylko od powierzchni występowania dębu. Pod względem miąższości, która wynosi 67,24 mln m³, co stanowi 4,3% udziału w ogólnym zapasie, ustępuje dębom i bukowi.

Zasobność brzozy na gruntach leśnych wynosi przeciętnie 164 m³/ha, przy przeciętnej zasobności łącznej wszystkich gatunków 224 m³/ha. W łącznym zapasie drzewostanów brzozowych największy udział mają drzewostany III i IV klasy wieku, następnie II i V. Przeciętny wiek brzozy w Polsce wynosi 46 lat.

Pozyskanie drewna brzozy wynosi ok. 2,7 mln m³ (stan na 2004 rok), co stanowi 8,76 % pozyskania ogółem. Wydaje się, że w przyszłości pozyskanie surowca brzozowego będzie się dalej utrzymywało na obecnym poziomie. Pomimo istotnego znaczenia gospodarczego drewna brzozy, w polskim leśnictwie wiele obszarów badawczych związanych z właściwościami drewna tego gatunku jest niepoznanych lub znanych jest słabo. Niektóre z opublikowanych wyników są sprzeczne lub trudno porównywalne. Publikacje zawierające charakterystykę drewna tego gatunku pochodzą na ogół sprzed kilkudziesięciu lat (Hall 1952, Krzysik 1957, 1978, Galewski et Korzeniowski 1958, Berndt 1963, Braun 1963, Süß 1967, Süß et Müller-Stoll 1969, 1970, Wagenführ 1974, Fabisiak et Helińska-Raczkowska 1998, Fabisiak 2005).

W skład drewna brzozy wchodzi: włókna drzewne, naczynia, promienie drzewne i miękisz drzewny. Udział poszczególnych elementów składowych drewna jest zmienny i zależy nie tylko od gatunku, wieku i położenia, ale także od warunków siedliskowych (Hall 1952, Braun 1963, Süß 1967).

W Polsce dotychczas nie podjęto prac badawczych mających na celu stwierdzenie, czy lokalizacja i wiek drzew oraz konkretne siedlisko mają wpływ na strukturę włókien drewna brzozy.

Wyniki przedstawione w niniejszej pracy otrzymano w ramach zakrojonych na szerszą skalę badań prowadzonych w Katedrze Użytkowania Lasu SGGW nad jakością techniczną surowca brzozowego w Polsce (Lachowicz 2008) oraz innych najważniejszych gatunków lasotwórczych (Laurow 1975, Paschalis 1976, Jednoralski 1993, Staniszewski 1996, Oktaba 2001, Królicki 2004).

2. Cel i zakres badań

Celem pracy było zbadanie, czy lokalizacja i wiek drzew oraz wzajemne powiązanie tych czynników ma wpływ na kształt i wymiary włókien drzewnych brzozy brodawkowatej 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.

Badania przeprowadzono w północno-wschodniej Polsce, będącej największą i potencjalnie najbogatszą, zdaniem praktyków, bazą surowcową brzozy brodawkowatej.

Wytypowano 12 powierzchni próbnych, po dwie w każdym z Nadleśnictw: Płońsk, Sokołów Podlaski, Biała Podlaska, Płaska, Giżycko i Górowo Iławeckie.

Badania polegały na określeniu wymiarów i kształtu włókien drzewnych brzozy, które stanowią główny składnik budowy anatomicznej drewna gatunków liściastych. Wybrano te parametry, które mają decydujący wpływ na zastosowanie drewna brzozy w przemyśle celulozowo-papierniczym, przy produkcji płyt wiórowych i pilśniowych wytwarzanych metodą suchą i mokrą oraz mas włóknistych, a także w przemyśle sklejkowym (Surma-Ślusarska et Surewicz 1985):

- długość włókien drzewnych (L) w [mm],
- szerokość włókien drzewnych (D) w [mm],
- światło włókien drzewnych (d) w [mm],
- grubość ściany włókien drzewnych (G) w [mm]
- wskaźnik smukłości włókien drzewnych (L/D),
- wskaźnik sztywności włókien drzewnych wg Runkla ($2G/d$), czyli stosunek podwójnej grubości ściany komórkowej do średnicy światła komórki włókna.

3. Metodyka badań

Pobranie i przygotowanie drewna do badań

Przy opracowaniu metodyki badań uwzględniono między innymi założenia, którymi kierowano się wcześniej w Katedrze Użytkowania Lasu SGGW w Warszawie badając elementy budowy anatomicznej drewna głównych gatunków drzew leśnych (Paschalis et Staniszewski 1992, 1994, Jednoralski et Oktaba 1998, Oktaba et Paschalis 2001, Oktaba et al. 2002). Umożliwi to w przyszłości stworzenie mapy jakości technicznej drewna wybranych gatunków, która została określona jednolicie metodycznie.

Drewno do badań pobrano z terenów regionalnych dystryktu Lasów Państwowych w Białymstoku (nadleśnictwa Płaska i Giżycko), Lublinie (Nadleśnictwo Biała Podlaska), Olsztynie (Nadleśnictwo Górowo Iław-



Rycina 1. Rozmieszczenie Nadleśnictw objętych pracami badawczymi

Figure 1. Location of forest districts where research was carried out

weckie) i Warszawie (nadleśnictwa Sokołów Podlaski i Płock) (ryc. 1).

Na terenie każdego nadleśnictwa założono po dwie powierzchnie próbné w drzewostanach w wieku ok. 45 lat i ok. 70 lat na siedlisku Lśw (wybrane na podstawie tabel powierzchniowo-miąszościowych uzyskanych w BULiGL oraz danych z operatów urzędzenia lasu). Powierzchnie zostały dobrane tak, aby miały zbliżone cechy taksacyjne takie jak: wiek, bonitację, zadrzewienie oraz inne elementy fizjograficzne (wysokość n.p.m., pochYLENIE terenu). Położenie każdej powierzchni określono za pomocą GPS (tab. 1).

Do wyboru drzew próbných zastosowano metodę Hartiga z trzema klasami grubości drzew, opierając się na przeciętnym polu przekroju pierśnicowego:

- klasa I – drzewa z najcieńszej klasy grubości,
- klasa II – drzewa ze średniej klasy grubości,
- klasa III – drzewa z najgrubszej klasy grubości.

Z każdej klasy grubości wybrano i pozyskano po 2 drzewa, czyli z każdej powierzchni 6 drzew. Ogólna liczba drzew próbných, z których pobrano materiał do dalszych badań, wynosiła 72.

Po ścięciu drzew próbných z okółpierznicowej partii każdego z nich pobrano dwa wyrzynki długości 0,5 m. Na powierzchni połupano wyrzynki na szczapy, które dokładnie opisano, zaznaczając z której części drzewa pochodzi dana szczapa. Po przewiezieniu drewna do pracowni terenowej SGGW w Rogowie, szczapy natychmiast okorowano w celu zwiększenia równomierności przesychania i uniknięcia zaparzenia. Następnie materiał przesortowano i odrzucono szczapy z takimi wadami jak sęki, zawoje, fałszywa twardziel, określony-

mi zgodnie z Polską Normą PN-79/D-01011. Po sezonowaniu drewna przez kilka miesięcy wyrobiono zgrubne próbki do badań wytrzymałościowych i strukturalnych (PN-77/D-04100, PN-77/D-04101, PN-77/D-04103, PN-77/D-04227), które następnie posłużyły do badań anatomicznych.

Badania laboratoryjne

Analizie poddano włókna drzewne, których udział w drewnie brzozy brodawkowatej wynosi średnio 64,8 % (Huber et Prütz 1938, Wanin 1953, Galewski et Korzeniowski 1958, Wagenführ 1974). Ich kształt i wymiary mają duże znaczenie w przemyśle celulozowo papierniczym (im dłuższe włókna, tym lepsze parametry wytrzymałościowe), a wskaźnik smukłości w przemyśle płyt pilśniowych produkowanych metodą suchą i mokrą (im dłuższe włókna i większy wskaźnik smukłości, tym lepsze parametry wytrzymałościowe).

Kilkucentymetrowe kawałki drewna brzozy poddano procesowi maceracji i zalano mieszaniną kwasu octowego lodowatego i perhydrolu w stosunku 1 : 2. Proces maceracji trwał 39 dni. Po przepłukaniu maceratu dużą ilością wody dejonizowanej, zabarwiono włókna zieloną metylową w celu ułatwienia pomiarów mikroskopowych. Proces przelewania i barwienia trwał 16 dni. Pomiarów włókien wykonano mikroskopem optycznym za pomocą binokularu z podziałką.

Długość włókien mierzono przy powiększeniu $\times 40$, średnicę $\times 320$, a światło $\times 800$.

Po dokonaniu pomiarów, na podstawie posiadanego wzorca określono współczynnik przeliczeniowy podziałki binokularu dla każdego z użytych powiększeń i przeliczono wyniki na milimetry z dokładnością do 0,01 mm dla długości włókien, a do 0,0001 mm – dla średnicy włókien, światła włókien i grubości ściany włókien drewna brzozy.

Każde drzewo w badaniach reprezentowała populacja 30 włókien drzewnych. Łącznie badania anatomiczne przeprowadzono na 2160 włóknach, wykonując 6480 pomiarów.

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

Tabela 1. Opis taksacyjny powierzchni badawczych

Table 1. Description of research stands

Nadleśnictwo, leśnictwo, oddział Forest district, sub-district and compartment	Polożenie geograficzne Geographical location	Powierzchnia Area ha	Opis taksacyjny Stand description							Drzewa prób- ne w klasach głębokości: Test trees in diameter classes d _{1,3} (cm) – h (m)
			Skład gatunkowy Species composition*	Wiek Age	Zadrzewienie Stand density	Siedlisko Site	Bonitacja /jakość Stand quality	Typ gleby Soil type	Pokrywa zielna Plant cover	
				lata years						
Płońsk, Nacpolsk, 354c	N 52°29'00,9" E 20°21'06,9"	1,33	6 Brz, 2 Md, 1 So, 1 Db	47	0,7	Lśw	I/3	brunatna brown	zazieleniona green soil	17,0 – 21,0 27,5 – 21,5 34,7 – 23,0
Płońsk, Nacpolsk, 355b	N 52°28'59,6" E 20°20'52,8"	5,31	6 So, 3 Brz, 1 Dd	70	0,8	Lśw	I/3	brunatna brown	zazieleniona green soil	30,7 – 25,5 37,5 – 26,5 42,9 – 27,5
Sokołów Podlas- ki, Repki, 269j	N 52°23'47,3" E 22°20'40,1"	4,65	6 Brz, 3 Gb, 1 Db	51	1,1	Lśw	I/3	–	zazieleniona green soil	21,9 – 24,5 27,0 – 26,0 31,8 – 27,5
Sokołów Pod- laski, Repki, 267a	N 52°23'47,4" E 22°20'40,0"	3,63	6 Brz, 2 Św, 2 Gb	66	1,1	Lśw	I/3	–	zazieleniona green soil	26,1 – 27,5 31,8 – 29,0 37,6 – 30,0
Biała Podlaska, Leśna Podlaska, 119d	N 52°08'06,7" E 23°04'29,5"	3,05	10 Brz	53	0,6	Lśw	1.5/2	płowa grey brown podsolic	zadarniona turf	22,4 – 26,0 28,3 – 26,0 33,4 – 26,0
Biała Podlaska, Szadek, 254b	N 52°05'42,3" E 23°12'48,2"	3,59	9 Brz, 1 So	69	0,6	Lśw	I/2	brunatna brown	zazieleniona green soil	22,9 – 23,0 34,2 – 29,0 42,2 – 29,0
Płaska, Gruszki, 123i	N 53°50'57,6" E 23°26'39,8"	1,44	7 Brz, 2 Ol, 1 Św	40	0,8	Lśw	I/2	–	zazieleniona green soil	15,1 – 21,0 22,0 – 23,5 27,2 – 25,5
Płaska, Gruszki, 157g	N 53°50'58,4" E 23°27'20,9"	4,09	6 Brz, 2 Św, 2 Ol	68	0,8	Lśw	I/2	–	zdziczała abundant weedy soil	19,2 – 26,5 28,1 – 28,0 35,7 – 30,0
Giżycko, Malinka, 153l	N 53°56'33,6" E 21°58'24,3"	2,14	9 Brz, 1 Św	42	0,9	Lśw	I/2	–	zazieleniona green soil	16,7 – 23,5 22,7 – 24,5 28,4 – 27,0
Giżycko, Malinka, 153o	N 53°56'29,7" E 21°58'29,6"	3,17	8 Brz, 2 Św	72	0,8	Lśw	I/2	–	zazieleniona green soil	34,7 – 29,5 43,0 – 32,5 50,8 – 30,5
Górowo Iławeckie, Kiwajny, 31b	N 54°21'44,8" E 20°25'04,1"	8,50	5 Brz, 4 Św, 1 Db	44	1,1	Lśw	I/2	brunatna brown	zadarniona turf	19,9 – 21,0 25,9 – 23,0 31,4 – 24,5
Górowo Iławeckie, Kiwajny, 16i	N 54°21'42,2" E 20°24'56,8"	3,31	8 Brz, 2 Ol	69	0,9	Lśw	I/3	brunatna brown	zadarniona turf	28,7 – 24,0 37,9 – 26,0 46,3 – 27,0

* Brz – birch, Św – spruce, Db – oak, Gb – hornbeam

4. Wyniki badań i ich analiza

Długość włókien drzewnych

Biorąc pod uwagę wiek drzew, najniższą średnią długość włókien drzewnych stwierdzono w przypadku drewna z drzewostanu w wieku 45 lat w Nadleśnictwie

Górowo Iławeckie (1,38 mm), a najwyższą (1,65 mm) – w drzewostanie w wieku 70 lat w Nadleśnictwie Płońsk (tab. 2).

Biorąc pod uwagę lokalizację, stwierdzono, że na terenie Nadleśnictwa Górowo Iławeckie średnia długość włókien drewna brzozy była najniższa i wynosiła 1,42 mm. Najwyższa średnia długość włókien została

odnotowana w Nadleśnictwie Płońsk (1,57 mm), różnica wyniosła 10,5% (tab. 2).

Średnia długość włókien drewna brzozy brodawkowatej, dla całego przebadanego materiału w północno-wschodniej Polsce, wynosi 1,50 mm.

Najmniejsza długość pojedynczego włókna, jaką zmierzono w badanym materiale wynosiła 0,88 mm, a największa – 2,14 mm.

Średnia długość włókien dla całego materiału oraz maksymalna pomierzona długość pojedynczego włókna

Tabela 2. Średnia długość włókien drzewnych [mm]
Table 2. Mean length of wood fibers [mm]

Wiek Age	Klasa grubości* Diameter classes*	Nadleśnictwo Forest district					
		Płońsk	Sokołów Podlaski	Biała Podlaska	Płaska	Giżycko	Górowo Iławckie
~ 45	I	1,53	1,40	1,61	1,39	1,38	1,34
	II	1,43	1,54	1,57	1,37	1,61	1,39
	III	1,48	1,57	1,55	1,51	1,48	1,41
Średnia / Mean		1,48	1,50	1,58	1,42	1,49	1,38
~ 70	I	1,72	1,53	1,46	1,49	1,45	1,49
	II	1,64	1,53	1,50	1,53	1,57	1,43
	III	1,60	1,43	1,53	1,47	1,46	1,47
Średnia / Mean		1,65	1,49	1,50	1,50	1,49	1,46
Średnia dla Nadleśnictwa Mean for forest district		1,57	1,50	1,54	1,46	1,49	1,42
Średnia ogólna Mean for all investigated material		1,50					

* I – drzewa najcieńsze / the thinnest trees, II – drzewa średnio grube / trees of average thickness, III – drzewa najgrubsze / the thickest trees

są wyższe od oznaczonych przez innych autorów: Wainina (1953) – 1,31 mm, Galewskiego i Korzeniowskiego (1958) – 0,8...1,2...1,6 mm, Kamińskiego i Laurowa (1966) – 1,2 mm, Wagenführ (1974) – 0,34...1,00...1,70 mm.

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała istotny wpływ wieku drzew i lokalizacji na średnią długość włókien drewna brzozy (tab. 3), która osiąga wyższe wartości w drzewostanach starszych. Pod względem średniej długości włókien były istotne różnice pomiędzy Nadleśnictwem Górowo Iławckie a pozostałymi nadleśnictwami, między Nadleśnictwem Płaska a nadleśnictwami Sokołów Podlaski, Biała Podlaska i Płońsk, pomiędzy Nadleśnictwem Płońsk a nadleśnictwami Sokołów Podlaski i Giżycko oraz pomiędzy Nadleśnictwem Biała Podlaska a nadleśnictwami Sokołów Podlaski i Giżycko. Nie stwierdzono istotnych różnic między Nadleśnictwem Biała Podlaska a Nadleśnictwem Płońsk oraz Nadleśnictwem Giżycko a nadleśnictwami Płaska i Sokołów Podlaski.

Wykazano także istotny statystycznie jednoczesny wpływ lokalizacji, z której pochodzi drewno, i wieku drzew na długość włókien drzewnych. Długość włókien rosła wraz z wiekiem w nadleśnictwach Górowo Iławckie, Płaska i Płońsk, nie zmieniała się w nadleśnictwach Sokołów Podlaski i Giżycko a malała w Nadleśnictwie Biała Podlaska.

Średnica włókien drzewnych

Porównując średnicę włókien drewna brzozy w różnym wieku, najniższą jej wartość zanotowano w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Płońsk (0,0209 mm), a najwyższą w drzewostanie starszym w Nadleśnictwie Płaska (0,0228 mm) (tab. 4).

W zależności od lokalizacji średnia wartość średnicy włókien drzewnych wynosiła od 0,0217 mm na terenie

Tabela 3. Wpływ lokalizacji i wieku drzew na długość włókien drzewnych (dwuczynnikowa analiza wariancji)
Table 3. Influence of location and age of trees on length of wood fibers (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 location	4,699	5	0,939799	30,46	0,0000
B – wiek age	0,8636	1	0,8636	27,99	0,0000
Interakcja AB Interaction AB	3,56838	5	0,713677	23,13	0,0000
Błąd Standard error	66,2796	2148	0,0308564		
Zmienność całkowita Total (corrected)	75,4105	2159			

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05:

Detailed comparison of average values with Tukey's test at the significance level 0,05:

HSD_A=0,0373403; HSD_B=0,0148158

Nadleśnictwa Płońsk do 0,0226 mm w nadleśnictwach Biała Podlaska i Płaska, różnica 4,1% (tab. 4).

Średnia średnica włókien drewna brzozy brodawkowatej na podstawie przebadanego materiału w północno-wschodniej Polsce wynosiła 0,0223 mm. Najmniejsza średnica pojedynczego włókna, jaką zmierzono w całym materiale badawczym, wynosiła 0,0125 mm, a największa – 0,0350 mm.

Tabela 4. Średnia średnica włókien drzewnych [mm]

Table 4. Mean diameter of wood fibers [mm]

Wiek Age	Klasa grubości* Diameter classes*	Nadleśnictwo Forest district					
		Płońsk	Sokołów Podlaski	Biała Podlaska	Płaska	Giżycko	Górowo Iławeckie
~ 45	I	0,0217	0,0206	0,0229	0,0208	0,0228	0,0231
	II	0,0210	0,0218	0,0227	0,0240	0,0235	0,0225
	III	0,0200	0,0223	0,0224	0,0222	0,0218	0,0223
Średnia Mean		0,0209	0,0216	0,0227	0,0223	0,0227	0,0227
~ 70	I	0,0229	0,0216	0,0217	0,0223	0,0213	0,0217
	II	0,0227	0,0230	0,0229	0,0227	0,0235	0,0232
	III	0,0223	0,0219	0,0228	0,0235	0,0223	0,0216
Średnia Mean		0,0226	0,0222	0,0224	0,0228	0,0223	0,0222
Średnia dla Nadleśnic. Mean for forest district		0,0217	0,0219	0,0226	0,0226	0,0225	0,0224
Średnia ogólna Mean for all investigated material		0,0223					

* I – drzewa najcieńsze / the thinnest trees, II – drzewa średnio grube / trees of average thickness, III – drzewa najgrubsze / the thickest trees

Tabela 5. Wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnicę włókien drzewnych (dwuczynnikowa analiza wariancji)

Table 5. Influence of location and age of trees on diameter of wood fibers (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 location	0,000251438	5	0,0000502876	3,88	0,0017
B – wiek age	0,000048151	1	0,000048151	3,71	0,0540
Interakcja AB Interaction AB	0,00031947	5	0,0000638941	4,92	0,0002
Błąd Standard error	0,0278669	2148	0,0000129734		
Zmienność całkowita Total (corrected)	0,028486	2159			

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05:

Detailed comparison of average values with Tukey's test at the significance level 0,05:

$HSD_A=0,000765653$; $HSD_B=0,000303794$

Średnia wartość średnicy włókien drzewnych mieściła się w przedziałach oznaczonych przez innych autorów: Galewskiego i Korzeniowskiego (1958) – 0,014–0,040 mm, Kamińskiego i Laurowa (1966) – 0,03 mm, Süssa i Müller-Stolla (1970) – 0,023 mm, oprócz Wagenführ (1974) – 0,0082...0,0138...0,00212 mm.

Analiza statystyczna nie wykazała w badanym materiale istotnego wpływu wieku drzew na średnią średnicę włókien drzewnych. Udowodniono natomiast wpływ lokalizacji na wartości średnie badanej cechy (tab. 5). Istotne okazały się różnice pomiędzy Nadleśnictwem Biała Podlaska a Nadleśnictwem Płońsk oraz pomiędzy Nadleśnictwem Płońsk a Nadleśnictwem Płaska. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic między pozostałymi nadleśnictwami.

Wykazano także istotny jednoczesny wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnią średnicę włókien. Średnica włókien rosła wraz z wiekiem w nadleśnictwach Sokołów Podlaski, Płońsk i Płaska, a w pozostałych trzech – Biała Podlaska, Giżycko i Górowo Iławeckie – malała.

Światło włókien drzewnych

Analizując światło włókien drzewnych w zależności od wieku drzew, najniższą średnią wartość tej cechy odnotowano w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Płońsk (0,0031 mm), najwyższą (0,0053 mm) w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Górowo Iławeckie (tab. 6).

W zależności od lokalizacji najniższą średnią wartość światła włókien odnotowano w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski (0,0040 mm), a najwyższą (0,0047 mm) w Nadleśnictwie Płaska. Różnica wyniosła 17,5% (tab. 6).

Średnia wartość światła włókien drewna brzozy brodawkowatej dla przebadanego materiału w północno-wschodniej Polsce wynosiła 0,0043 mm i była nieco wyższa od podawanej przez Süssa i Müller-Stolla (1970) – 0,003 mm, a dwukrotnie niższa od cytowanej przez Wagenführera (1974) – 0,004...0,0085...0,0145 mm.

Tabela 6. Średnia wartość światła włókien drzewnych [mm]
Table 6. Mean value of wood fiber lumen [mm]

Wiek Age	Klasa grubości* Diameter classes*	Nadleśnictwo Forest district					
		Płońsk	Sokołów Podlaski	Biała Podlaska	Płaska	Giżycko	Górowo Iławeckie
~ 45	I	0,0032	0,0042	0,0040	0,0040	0,0046	0,0058
	II	0,0030	0,0042	0,0041	0,0058	0,0055	0,0050
	III	0,0032	0,0045	0,0047	0,0049	0,0045	0,0053
Średnia Mean		0,0031	0,0043	0,0043	0,0049	0,0049	0,0053
~ 70	I	0,0049	0,0039	0,0044	0,0044	0,0033	0,0033
	II	0,0051	0,0035	0,0047	0,0044	0,0036	0,0035
	III	0,0049	0,0038	0,0048	0,0047	0,0034	0,0037
Średnia Mean		0,0050	0,0037	0,0046	0,0045	0,0034	0,0035
Średnia dla Nadleśnic. Mean for forest district		0,0041	0,0040	0,0044	0,0047	0,0041	0,0044
Średnia ogólna Mean for all investigated material		0,0043					

* I – drzewa najcieńsze / the thinnest trees, II – drzewa średnio grube / trees of average thickness, III – drzewa najgrubsze / the thickest trees

Tabela 7. Wpływ lokalizacji i wieku drzew na światło włókien drzewnych (dwuczynnikowa analiza wariancji)
Table 7. Influence of location and age of trees on wood fiber lumen (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 location	0,000129702	5	0,0000259405	10,26	0,0000
B – wiek age	0,0000672042	1	0,0000672042	26,59	0,0000
Interakcja AB Interaction AB	0,000783243	5	0,000156649	61,98	0,0000
Błąd Standard error	0,00542852	2148	0,00000252724		
Zmienność całkowita Total (corrected)	0,00640867	2159			

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05:

Detailed comparison of average values with Tukey's test at the significance level 0,05:

HSD_A=0,000337931; HSD_B=0,000134084

Najmniejsze światło pojedynczego włókna, jakie zmierzono w badanym materiale, wynosiło 0,0020 mm, a największe – 0,0100 mm.

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała istotny wpływ zarówno wieku drzew, jak i lokalizacji na średnią wartość światła włókien drzewnych brzozy (tab. 7). Wyższe średnie wartości światła włókien odnotowano w drzewostanach młodszych. W zależności od lokalizacji udowodniono istotne różnice wartości światła włókien pomiędzy Nadleśnictwem Biała Podlaska a nadleśnictwami Płońsk i Sokołów Podlaski, pomiędzy Nadleśnictwem Giżycko a Nadleśnictwem Płaska, pomiędzy Nadleśnictwem Górowo Iławeckie a nadleśnictwami Płońsk i Sokołów Podlaski. Istotne różnice występowały także między Nadleśnictwem Płaska a nadleśnictwami Płońsk i Sokołów Podlaski. Istotnych różnic nie wykazano między Nadleśnictwem Biała Podlaska a nadleśnictwami Giżycko, Górowo Iławeckie i Płaska oraz między Nadleśnictwem Giżycko a nadleśnictwami Górowo Iławeckie, Płońsk, Sokołów Podlaski a także między Nadleśnictwem Górowo Iławeckie a Nadleśnictwem Płaska oraz pomiędzy Nadleśnictwem Płońsk i Nadleśnictwem Sokołów Podlaski.

Wykazano także istotny jednoczesny wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnie wartości światła włókien. W nadleśnictwach Płońsk i Biała Podlaska średnia wartość światła włókien rosła wraz z wiekiem, w pozostałych czterech nadleśnictwach – malała.

Grubość ściany włókien drzewnych

Porównując grubość ściany włókien drewna brzozy brodawkowatej w zależności od wieku drzew, stwierdzono, że najniższą wartość cecha ta miała w drzewostanie młodszym Nadleśnictwa Sokołów Podlaski (0,0086 mm), a najwyższą – w drzewostanie starszym w Nadleśnictwie Giżycko (0,0095 mm) (tab. 8).

W zależności od lokalizacji średnia wartość grubości ściany włókien drzewnych wynosiła od 0,0088 mm na terenie Nadleśnictwa Płońsk do 0,0092 mm w Nadleśnictwie Giżycko. Różnica wynosiła 4,5% (tab. 8).

Średnia grubość ściany włókien drewna brzozy brodawkowatej na podstawie przebadanego materiału w północno-wschodniej Polsce wynosiła 0,0090 mm.

Tabela 8. Średnia grubość ściany włókien drzewnych [mm]
Table 8. Mean thickness of wood fiber walls [mm]

Wiek Age	Klasa grubości* Diameter classes*	Nadleśnictwo Forest district					
		Płońsk	Sokołów Podlaski	Biała Podlaska	Płaska	Giżycko	Górowo Iławeckie
~ 45	I	0,0092	0,0082	0,0094	0,0084	0,0091	0,0087
	II	0,0090	0,0088	0,0093	0,0091	0,0090	0,0088
	III	0,0084	0,0089	0,0089	0,0087	0,0087	0,0085
Średnia Mean		0,0089	0,0086	0,0092	0,0087	0,0089	0,0087
~ 70	I	0,0090	0,0088	0,0086	0,0089	0,0090	0,0092
	II	0,0088	0,0097	0,0091	0,0092	0,0100	0,0098
	III	0,0087	0,0090	0,0090	0,0094	0,0095	0,0090
Średnia Mean		0,0088	0,0092	0,0089	0,0092	0,0095	0,0093
Średnia dla nadleśnictwa Mean for forest district		0,0088	0,0089	0,0091	0,0089	0,0092	0,0090
Średnia ogólna Mean for all investigated material		0,0090					

* I – drzewa najcieńsze / the thinnest trees, II – drzewa średnio grube / trees of average thickness, III – drzewa najgrubsze / the thickest trees

Najmniejsza grubość ściany pojedynczego włókna, jaką zmierzono w całym materiale badawczym, wynosiła 0,0048 mm, a największa 0,0150 mm.

Średnia grubość ściany włókien drzewnych dla całego materiału jest zbliżona do podanej przez Süssa i Müller-Stolla (1970) – 0,01 mm, a większa od podawanej przez Wagenführ (1974) – 0,0021...0,00265...0,00335 mm.

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała istotny wpływ zarówno wieku drzew, jak i lokalizacji na średnią wartość grubości ściany włókien drzewnych badanego drewna brzozy (tab. 9). Wyższe średnie wartości grubości ściany włókien drzewnych były w drzewostanach starszych. Rozpatrując wpływ lokalizacji, udowodniono, że pod względem grubości ściany włókien były istotne różnice pomiędzy Nadleśnictwem Giżycko a Nadleśnictwem Płońsk. Różnice między pozostałymi nadleśnictwami pod względem średniej grubości ściany włókien drzewnych nie były istotne.

Odnotowano także istotny statystycznie jednoczesny wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnią grubość ściany włókien. W Nadleśnictwie Biała Podlaska średnia grubość ściany malała z wiekiem, w Nadleśnictwie Płońsk również, choć nieznacznie, a w nadleśnictwach Sokołów Podlaski, Płaska, Giżycko i Górowo Iławeckie – rosła.

Wskaźnik smukłości włókien drzewnych

Średnia wartość wskaźnika smukłości włókien drzewnych w zależności od wieku drzew była najniższa w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Górowo Iławeckie i wynosiła 62,24, a najwyższa – 74,23, była w drzewostanie starszym w Nadleśnictwie Płońsk (tab. 10).

Analizując średnią wartość wskaźnika smukłości włókien drewna brzozy w zależności od lokalizacji

Tabela 9. Wpływ lokalizacji i wieku drzew na grubość ściany włókien drzewnych (dwuczynnikowa analiza wariancji)
Table 9. Influence of location and age of trees on wall thickness of wood fibers (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 location	0,0000245252	5	0,00000490503	2,57	0,0250
B – wiek age	0,0000566806	1	0,0000566806	29,73	0,0000
Interakcja AB Interaction AB	0,0000674071	5	0,0000134814	7,07	0,0000
Błąd Standard error	0,0040945	2148	0,00000190619		
Zmienność całkowita Total (corrected)	0,00424311	2159			

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05:

Detailed comparison of average values with Tukey's test at the significance level 0,05:

HSD_A=0,000293487; HSD_B=0,000116449

okazało się, że najniższa była na terenie Nadleśnictwa Górowo Iławeckie i wynosiła tam 64,78. Najwyższa średnia wartość wskaźnika smukłości włókien, 73,27 została odnotowana w Nadleśnictwie Płońsk. Różnica wynosiła 13,1% (tab. 10).

Tabela 10. Średni wskaźnik smukłości włókien drzewnych

Table 10. Mean felting index of wood fiber slenderness

Wiek Age	Klasa grubości* Diameter classes*	Nadleśnictwo Forest district					
		Płońsk	Sokołów Podlaski	Biała Podlaska	Płaska	Giżycko	Górowo Iławeckie
~ 45	I	72,03	68,94	71,39	67,73	61,89	59,19
	II	69,33	71,51	70,51	58,19	69,96	63,35
	III	75,57	72,07	70,38	69,52	69,41	64,18
Średnia Mean		72,31	70,84	70,76	65,14	67,08	62,24
~ 70	I	76,44	73,82	68,73	67,88	71,14	70,23
	II	73,05	67,87	66,39	69,07	68,33	62,45
	III	73,21	66,59	68,55	64,15	67,48	69,29
Średnia Mean		74,23	69,42	67,89	67,03	68,98	67,33
Średnia dla Nadleśnictwa Mean for forest district		73,27	70,13	69,33	66,09	68,03	64,78
Średnia ogólna Mean for all investigated material					68,61		

* I – drzewa najcieńsze / the thinnest trees, II – drzewa średnio grube / trees of average thickness, III – drzewa najgrubsze / the thickest trees

Średnia wartość wskaźnika smukłości włókien drewna brzozy brodawkowatej w północno-wschodniej Polsce wyniosła 68,61.

Najmniejsza wartość wskaźnika smukłości pojedynczego włókna wynosiła 36,05, a największa – 137,14.

Stwierdzono istotny wpływ zarówno wieku drzew, jak i lokalizacji na średnią wartość wskaźnika smukłości włókien drzewnych brzozy (tab. 11). Wyższe wartości wskaźnika smukłości miały włókna drewna w drzewostanach starszych. W zależności od lokalizacji udowodniono istotność różnic badanej cechy pomiędzy Nadleśnictwem Biała Podlaska a nadleśnictwami Górowo Iławeckie, Płaska i Płońsk, oraz pomiędzy Nadleśnictwem Giżycko a nadleśnictwami Górowo Iławeckie i Płońsk. Istotne różnice zostały także odnotowane pomiędzy Nadleśnictwem Górowo Iławeckie a nadleśnictwami Płońsk i Sokołów Podlaski, pomiędzy Nadleśnictwem Płaska a nadleśnictwami Płońsk i Sokołów Podlaski oraz pomiędzy Nadleśnictwem Płońsk a Nadleśnictwem Sokołów Podlaski. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy Nadleśnictwem Biała Podlaska a nadleśnictwami Giżycko i Sokołów Podlaski, pomiędzy Nadleśnictwem Giżycko a nadleśnictwami Płaska i Sokołów Podlaski i pomiędzy Nadleśnictwem Górowo Iławeckie a Nadleśnictwem Płaska.

Zanotowano także istotny wpływ lokalizacji i wieku drzew na wartości wskaźnika smukłości włókien drewna brzozy. W nadleśnictwach Sokołów Podlaski i Biała Podlaska wraz z wiekiem drzew wartość wskaźnika smukłości malała. W nadleśnictwach Płońsk, Płaska, Giżycko i Górowo Iławeckie wartość wskaźnika smukłości przyjmowała wraz z wiekiem drzew wyższe wartości.

Tabela 11. Wpływ lokalizacji i wieku drzew na wskaźnik smukłości włókien drzewnych (dwuczynnikowa analiza wariancji)

Table 11. Influence of location and age of trees on felting index of wood fibers (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 location	16516,1	5	3303,21	23,30	0,0000
B – wiek age	635,571	1	635,571	4,48	0,0342
Interakcja AB Interaction AB	3591,7	5	718,339	5,07	0,0001
Błąd Standard error	304519,0	2148	141,769		
Zmienność całkowita Total (corrected)	325262,0	2159			

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05:

Detailed comparison of average values with Tukey's test at the significance level 0,05:

$HSD_A=2,53102$; $HSD_B=1,00425$

Wskaźnik sztywności włókien drzewnych wg Runkla

Wskaźnik sztywności włókien drzewnych w zależności od wieku drzew miał najniższą średnią wartość 3,64 w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Górowo Iławeckie, a najwyższą – 6,24, w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Płońsk (tab. 12).

Tabela 12. Średni wskaźnik sztywności włókien drzewnych wg Runkla

Table 12. Mean Runkel rigidity index of wood fibers

Wiek Age	Klasa grubości* Diameter classes*	Nadleśnictwo Forest district					
		Płońsk	Sokołów Podlaski	Biała Podlaska	Płaska	Giżycko	Górowo Iławeckie
~ 45	I	6,33	4,38	5,31	4,67	4,53	3,36
	II	6,53	4,73	5,19	3,38	3,57	4,02
	III	5,85	4,53	4,17	3,90	4,31	3,54
Średnia Mean		6,24	4,55	4,89	3,98	4,14	3,64
~ 70	I	4,11	5,03	4,37	4,59	6,14	6,19
	II	3,81	6,32	4,45	4,80	6,22	6,03
	III	3,86	5,64	4,45	4,58	6,31	5,35
Średnia Mean		3,93	5,66	4,43	4,66	6,22	5,86
Średnia dla Nadleśnictwa Mean for forest district		5,08	5,11	4,66	4,32	5,18	4,75
Średnia ogólna Mean for all investigated material				4,85			

* I – drzewa najcieńsze / the thinnest trees, II – drzewa średnio grube / trees of average thickness, III – drzewa najgrubsze / the thickest trees

Tabela 13. Wpływ lokalizacji i wieku drzew na wskaźnik sztywności włókien drzewnych wg Runkla (dwuczynnikowa analiza wariancji)

Table 13. Influence of location and age of trees on Runkel rigidity index of wood fibers (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 location	200,308	5	40,0615	12,49	0,0000
B – wiek age	165,353	1	165,353	51,56	0,0000
Interakcja AB Interaction AB	1321,41	5	264,282	82,42	0,0000
Błąd Standard error	6888,03	2148	3,20672		
Zmienność całkowita Total (corrected)	8575,1	2159			

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05:

Detailed comparison of average values with Tukey's test at the significance level 0,05:

HSD_A=0,380658; HSD_B=0,151037

W zależności od lokalizacji odnotowano najniższą średnią wartość wskaźnika sztywności włókien w Nadleśnictwie Płaska – 4,32, a najwyższą – 5,18, w Nadleśnictwie Giżycko. Różnica stanowiła 19,9% (tab.12).

Średnia wartość wskaźnika sztywności włókien drewna brzozy brodawkowatej w północno-wschodniej Polsce wyniosła 4,85.

Najmniejszą wartość wskaźnika sztywności pojedynczego włókna wyniosła 1,75, a największa – 14,00.

Analiza wariancji wykazała istotny wpływ zarówno wieku drzew, jak i lokalizacji na średnią wartość wskaźnika sztywności włókien drzewnych brzozy (tab. 13). Wyższe wartości wskaźnika sztywności miały włókna drewna z drzewostanów starszych.

Udowodniono, że istotne różnice średnich wartości wskaźnika sztywności włókien w zależności od lokalizacji były pomiędzy Nadleśnictwem Biała Podlaska a nadleśnictwami Giżycko, Płońsk i Sokołów Podlaski, pomiędzy Nadleśnictwem Giżycko a nadleśnictwami Górowo Iławeckie i Płaska, pomiędzy Nadleśnictwem Górowo Iławeckie a Nadleśnictwem Płaska oraz pomiędzy Nadleśnictwem Płaska a nadleśnictwami Płońsk i Sokołów Podlaski. Nie stwierdzono istotnych różnic między Nadleśnictwem Biała Podlaska a nadleśnictwami Górowo Iławeckie i Płaska, pomiędzy nadleśnictwem Giżycko a nadleśnictwami Płońsk i Sokołów Podlaski, pomiędzy Nadleśnictwem Górowo Iławeckie a nadleśnictwami Płońsk i Sokołów Podlaski oraz pomiędzy Nadleśnictwem Płońsk a Nadleśnictwem Sokołów Podlaski.

Wykazano także istotny jednoczesny wpływ lokalizacji i wieku drzew na wartość wskaźnika sztywności włókien drewna brzozy. W nadleśnictwach Płońsk i Biała Podlaska im starszy był drzewostan, tym wartości wskaźnika sztywności przyjmowały niższe wartości. W nadleśnictwach: Sokołów Podlaski, Płaska, Giżycko i

Górowo Haweckie wraz z wiekiem drzewostanu wartości wskaźnika sztywności włókien brzozy rosły.

5. Wnioski

Analiza wyników badań dotyczących budowy anatomicznej drewna brzozy brodawkowatej w zależności od lokalizacji i wieku drzew pozwala na sformułowanie następujących wniosków.

Wpływ lokalizacji i wieku drzew był istotny w przypadku wszystkich średnich wartości parametrów struktury włókien drzewnych, z wyjątkiem średnicy włókien.

Drewno z drzewostanów młodszych w porównaniu z drewnem z drzewostanów starszych charakteryzowało się niższymi wartościami średnimi: długości włókien, grubości ściany włókien, wskaźnikiem smukłości i wskaźnikiem sztywności wg Runkla. Wyższe wartości średnie osiągało drewno młodsze tylko w przypadku światła włókien.

Największe istotne różnice między nadleśnictwami odnotowano w przypadku długości włókien, światła włókien, wskaźnika smukłości i wskaźnika sztywności włókien drzewnych wg Runkla.

Drewno brzozy z Nadleśnictwa Płońsk miało włókna o najwyższym wskaźniku smukłości (najdłuższe włókna przy najmniejszej średnicy). Najwyższy wskaźnik sztywności włókien drzewnych wg Runkla odnotowano w Nadleśnictwie Giżycko (najgrubsze ściany włókien).

Udowodnione zmiany wskaźników struktury włókien drewna brzozy brodawkowatej mogą mieć wpływ na dalsze gospodarcze wykorzystanie tego wartościowego surowca.

Wydaje się zasadne podjęcie badań nad strukturą włókien drewna brzozy brodawkowatej według powyższej metodyki pracy w innych bazach surowcowych tego gatunku niż północno-wschodnia Polska.

Literatura

Berndt J. 1963. Badania anatomiczne drewna krajowych gatunków rodzaju *Betula* L. *Studia Societatis Scientiarum Torunensis, Sectio D*, VI: 1–41.

Braun H. J. 1963. Die Organisation des Stammes von Bäumen und Sträuchern. Stuttgart, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

Browicz K. 1979. Geograficzne rozmieszczenie brzoź. [W:] Brzozy. Warszawa-Poznań. PWN.

Fabisiak E., Helińska-Raczkowska. 1998. Variation in cell dimensions within single annual growth ring of birch wood (*Betula pendula* Roth.). *Folia Forestalia Polonica, Seria B*, 29: 31–37.

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.

Huber B., Prütz G. 1938. Über den Anteil von Fasern, Gefäßen und Parenchym am Aufbau verschiedener hölzer. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 10.: 377–381.

Jednoralski G. 1993. Wybrane wskaźniki jakości technicznej drewna buka (*Fagus sylvatica* L.) z północnej i południowej bazy surowcowej w Polsce. Rozprawa doktorska. SGGW, Warszawa.

Jednoralski G., Oktaba J. 1998. Wybrane wskaźniki struktury włókien drewna buka (*Fagus sylvatica* L.) z północnej i południowej bazy surowcowej w Polsce. *Przemysł Drzewny*, 6: 22–24.

Kamiński E., Laurow Z. 1966. Główne użytkowanie lasu. I. Nauka o surowcu drzewnym. Warszawa, Wydawnictwo SGGW.

Królicki A. 2004. Zróżnicowanie właściwości technicznych drewna *Abies alba* L. i kształtowanie się rynku drewna jodłowego w Polsce. Rozprawa doktorska. SGGW, Warszawa.

Krzysik F. 1957. Nauka o drewnie. Warszawa, PWN.

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.

Laurow Z. 1975. Kształtowanie się jakości technicznej drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) pochodzącej z wybranych siedlisk Puszczy Piskiej. *Zeszyty Naukowe SGGW – AR, Rozprawy Naukowe*, 56.

Oktaba J. 2001. Wybrane wskaźniki jakości technicznej drewna świerka (*Picea abies* L.) pochodzącego z drzewostanów będących pod wpływem emisji przemysłowych. Rozprawa doktorska. SGGW, Warszawa.

Oktaba J., Paschalis P. 2001. Zmiany budowy cewek drewna świerka *Picea abies* (L.) Karst. w drzewostanach będących pod wpływem emisji przemysłowych. IV Krajowe Sympozjum „Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe”, 29.05-1.06.2001, Poznań-Kórnik.

Oktaba J., Paschalis P., Staniszewski P. 2002. Selected indicators of pine and spruce wood technical quality from the forest being under the impact of industrial pollution. *Folia Forestalia Polonica, Seria A*, 44: 77–86.

Paschalis P. 1976. Zmienność jakości technicznej drewna sosny zwyczajnej we wschodniej części Polski. Rozprawa doktorska. SGGW, Warszawa.

Paschalis P., Staniszewski P. 1992. Założenia metodyczne oznaczania wytrzymałości drewna pochodzącego z drzewostanów będących pod wpływem zanieczyszczeń przemysłowych. XVI Sympozjum – Ochrona drewna, Warszawa, Wydawnictwo SGGW, 35–39.

Paschalis P., Staniszewski P. 1994. Wstępne wyniki badań zmian gęstości i wytrzymałości drewna z drzewostanów znajdujących się pod wpływem emisji przemysłowych. XVII Sympozjum – Ochrona Drewna, Rogów 14-16.09.1994, Warszawa, Wydawnictwo SGGW, 123–126.

- Staniszewski P. 1996. Wybrane wskaźniki jakości technicznej drewna sosny (*Pinus sylvestris* L.) z drzewostanów będących pod wpływem emisji przemysłowych. Rozprawa doktorska. SGGW, Warszawa.
- Surma-Ślusarska B., Surewicz W. 1985. Wpływ wieku drzew i siedliska na wydajność i właściwości mas celulozowych siarczanowych. *Folia Forestalia Polonica, Seria B*, 16: 67–86.
- Süss H. 1967. Über die Längenänderungen der Parenchymstränge, Holzfasern und Gefässglieder von Laubhölzern im Verlauf einer Zuwachperiode. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 25, H. 10: 369–377.
- Süss H., Müller-Stoll W. R. 1969. Über das Faserwachstum, seine Beziehungen zum jahresperiodischen Dickenwachstum und die Faserüberlappung bei einigen Laubhölzern. *Holzforschung*, 23, H. 5: 145–152.
- Süss H., Müller-Stoll W. R. 1970. Änderungen der Zellgrößen und des Anteils der Holzelemente in zerstreutporigen Hölzern innerhalb einer Zuwachperiode. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 28, H. 8: 309–317.
- Wagenführ R., Scheiber Chr. 1974. *Holzatlas*. Leipzig, VEB Fachbuchverlag.
- Wanin S. 1953. *Nauka o drewnie*. Warszawa, PWRiL.
- Zarzycki K. 1979. *Zarys ekologii*. [W:] Brzozy. Warszawa-Poznań. PWN.