

HUBERT LACHOWICZ, PIOTR PASCHALIS-JAKUBOWICZ

Zmienność wybranych wskaźników struktury włókien drewna brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) w północno-wschodniej Polsce

Variability of the wood fibre structure indices for silver birch (*Betula pendula* Roth.) in north-eastern Poland

ABSTRACT

Lachowicz H., Paschalis-Jakubowicz P. 2011. Zmienność wybranych wskaźników struktury włókien drewna brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) w północno-wschodniej Polsce. Sylwan 155 (7): 446-458.

The variation of the fibre structure indices was determined for silver birch. The examined trees came from north-eastern Poland, which is the largest source of raw material of this species. Wood samples were taken for measurement from trees aged 45 and 70 years that grew in the fresh deciduous forest habitat. Fibre structure indices measuring felting, flexibility, rigidity, rigidity according to Runkel as well as Mühlsteph's and compactness indices were selected as the basic fibre pulp properties and subjected to statistical analysis. A significant effect of the location and age of trees on all wood fibre structure indices except for the effect of age on the compactness index was found. The studies also showed a significant, simultaneous effect of tree location and age on the mean values of all analysed indices of silver birch wood fibre structure.

KEY WORDS

silver birch, fibre structure indices, wood anatomic features

ADDRESSES

Hubert Lachowicz – e-mail: Hubert.Lachowicz@wl.sggw.pl

Piotr Paschalis-Jakubowicz – e-mail: Piotr.Paschalis@wl.sggw.pl

Katedra Użytkowania Lasu; SGGW; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa

Wstęp

Wpływ na anatomiczną strukturę drewna mają oprócz rodzaju i gatunku, z jakiego pochodzi drewno, klimatyczne i siedliskowe warunki jego wzrostu oraz wiek drzew. Wymiary włókien należą do podstawowych właściwości mas włóknistych. Wywierają one istotny wpływ na strukturalne i wytrzymałościowe właściwości produktów papierniczych. Analizując wymiary włókien określa się najczęściej ich długość, średnicę, grubość ścianki komórki włókna, lumen oraz wzajemne powiązanie między tymi parametrami. Technologie wytwarzania mas celulozowych biorą pod uwagę odmienną budowę anatomiczną drewna gatunków iglastych i liściastych. W praktyce przemysłowej nie uwzględnia się jednak takich czynników jak wiek drzew oraz siedlisko, z którego pochodzą.

W stanie niezmielonym grubościennie włókna papierniczych mas włóknistych charakteryzują się w stosunku do włókien cienkościennych mniejszą odkształcalnością zarówno w kierunku poprzecznym, jak i wzdłużnym (większą sztywnością) [Jayme, Hunger 1958]. Wytwory papiernicze z włókien sztywnych charakteryzują się luźną strukturą i stosunkowo małą powierzchnią kontaktu między włóknami [Smook 1992]. Ponieważ energia wiązań między włóknami w papierze uzależniona jest w istotnym stopniu od powierzchni kontaktu między nimi,

konsekwencją wysokiej sztywności niezmielonych włókien grubościennych jest niska energia [Jayme, Hunger 1962]. Naturalnym zaś następstwem małej energii wiązań między włóknami w papierze są niskie właściwości wytrzymałościowe (statyczne) tego wytworu. Włókna cienkościenne dzięki relatywnie dobrej odkształcalności, już w niewielkim stopniu zmielenia lub w stanie niezmielonym, dają papier o stosunkowo zwartej strukturze i odpowiednio wysokich właściwościach wytrzymałościowych. W wyniku procesu mielenia, polegającego na uplastycznieniu struktury włókien, zarówno włóknom cienkościennym, jak i grubościennym, można nadać wymaganą giętkość i plastyczność. Jednak osiągnięcie tego celu wymaga zwiększonego zużycia energii na mielenie masy włóknistej zawierającej włókna grubościenne [Przybysz 2005b].

Wymiary włókien należą do podstawowych właściwości papierniczych mas włóknistych, kształtujących ich zdolność papierotwórczą. Przedstawiona w pracy metoda mikroskopowego pomiaru parametrów struktury włókien, służąca do określenia wskaźników ich struktury, jest bardzo pracochłonna i dokładna. Obecnie istnieją także inne sposoby (np. metoda analizy obrazu), umożliwiające szybkie określenie pełnej charakterystyki wymiarowej włókien. Wyniki niniejszych badań są wkładem w poznanie wskaźników struktury włókien drewna brzozy brodawkowej w północno-wschodniej Polsce.

Weześniejsze badania mające na celu stwierdzenie, czy lokalizacja i wiek drzew oraz konkretne siedlisko mają wpływ na strukturę włókien drewna brzozy brodawkowej, udowodniły istotny wpływ lokalizacji i wieku drzew na długość, średnicę, lumen, grubość ścianki, wskaźnik smukłości i wskaźnik Runkla włókien drzewnych, oprócz wpływu wieku na średnicę włókien. Stwierdzono również istotny, jednoczesny wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnie wartości wszystkich badanych elementów struktury włókien drewna brzozy brodawkowej [Lachowicz 2010].

Wyniki przedstawione w niniejszej pracy są kontynuacją zakrojonych na szerszą skalę badań prowadzonych w Katedrze Użytkowania Lasu SGGW nad jakością techniczną surowca brzożowego oraz innych najważniejszych gatunków lasotwórczych.

Celem pracy było zbadanie wpływu lokalizacji i wieku drzew oraz wzajemnego powiązania tych czynników na wartości wskaźników charakteryzujących kształt i poprzeczne wymiary włókien drzewnych brzozy brodawkowej 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 otrzymanych. Badaniom poddano włókna drzewne, których udział w drewnie brzozy brodawkowej wynosi średnio 64,8% [Huber, Prütz 1938; Wanin 1953; Galewski, Korzeniowski 1958; Wagenführ 2007].

Materiał i metody

Opracowując metodykę badań uwzględniono między innymi założenia, którymi kierowano się wcześniej w Katedrze Użytkowania Lasu SGGW w Warszawie, badając budowę anatomiczną drewna głównych gatunków drzew leśnych [Paschalis, Staniszewski 1992, 1994; Jednoralski, Oktaba 1998; Oktaba, Paschalis 2001; Oktaba i in. 2002]. Umożliwi to w przyszłości stworzenie mapy jakości technicznej drewna wybranych gatunków lasotwórczych, która zostałaby określona według jednolitej metodyki badań.

Badania przeprowadzono w północno-wschodniej Polsce, będącej największą i potencjalnie najbogatszą, zdaniem praktyków, bazą surowcową brzozy brodawkowej. Drewno do badań pobrano z terenów regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych w Białymstoku (nadleśnictwa

Płaska i Giżycko), Lublinie (Nadleśnictwo Biała Podlaska), Olsztynie (Nadleśnictwo Górowo Iławeckie) i Warszawie (nadleśnictwa Sokołów Podlaski i Płońsk).

Na terenie każdego nadleśnictwa na podstawie tabel powierzchniowo-miąższościowych wybrano i założono na siedlisku Lśw po dwie powierzchnie próbne w drzewostanach w wieku około 45 lat i około 70 lat. Powierzchnie zostały dobrane tak, aby miały zbliżone takie cechy taksacyjne jak wiek, bonitacja, zadrzewienie oraz inne elementy fizjograficzne (wysokość n.p.m., pochylenie terenu). Opis taksacyjny powierzchni badawczych został szczegółowo przedstawiony w publikacji poświęconej strukturze włókien drewna brzozy brodawkowatej w północno-wschodniej Polsce [Lachowicz 2010].

Do wyboru drzew próbnych 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. Ogólna liczba drzew próbnych, z których pobrano materiał do dalszych badań, wynosiła 72. Po ich ścięciu, z okołopierśnicowej partii każdego z nich pobrano dwa wyrzynki długości 0,5 m, z których pobrano próbki do badań anatomicznych. Kilkucentymetrowe kawałki drewna brzozy poddano procesowi maceracji przy użyciu mieszaniny kwasu octowego lodowatego i perhydrolu. Po przepłukaniu maceratu, zabarwiono włókna zielenią metylową w celu ułatwienia pomiarów mikroskopowych. Pomiarów włókien wykonano mikroskopem optycznym za pomocą binokularu z podziałką. Każde drzewo w badaniach reprezentowała populacja 30 włókien drzewnych. Łącznie badania anatomiczne przeprowadzono na 2160 włóknach.

Następnie na podstawie długości włókien i parametrów charakteryzujących ich poprzeczne wymiary obliczono wskaźniki struktury włókien drzewnych. Wybrano te wskaźniki, które najlepiej charakteryzują poprzeczne wymiary włókien (średnica, grubość ścianki, średnica lumenu), ich proporcje wymiarowe i kształt oraz takie, które mają decydujący wpływ na zastosowanie drewna brzozy w procesie wytwarzania mas włóknistych i w przemyśle celulozowo-papierniczym [Surewicz 1971; Surma-Ślusarska, Surewicz 1985; Przybysz 2005a-c]. Zbadano następujące wskaźniki:

– wskaźnik smukłości (ang. felting index), określony wzorem:

$$S = \frac{L}{D}$$

Uważa się, że stosunek ten powinien być możliwie duży, nie mniejszy niż 40. Im dłuższe włókna (L) i im wyższy współczynnik smukłości (S), tym lepsze parametry wytrzymałościowe papieru [Oniśko 1970].

– wskaźnik giętkości (ang. flexibility index), który określa wzór:

$$\frac{d}{D}$$

Im większa szerokość lumenu (d) lub im mniejsza średnica włókna (D), tym wyższy wskaźnik giętkości (bardziej giętkie włókna) i większa przydatność surowca drzewnego do celów papierniczych.

– wskaźnik sztywności (ang. rigidity index), liczony według wzoru:

$$\Phi = \frac{G}{D} \times 100\%$$

Wskaźnik sztywności wykazuje odwrotnie proporcjonalny wpływ na naprężenia zrywające [Tamolang, Wangaard 1961]. Im większe jego wartości (grubsza ścianka włókna – G), tym mniejsze wartości wytrzymałościowe.

– wskaźnik sztywności Runkla (ang. Runkel rigidity index):

$$R = \frac{2G}{d}$$

Wskaźnik ten ma istotny wpływ na podatność włókien na spilśnianie w procesie wytwarzania papieru oraz na właściwości wytrzymałościowe wytworów papierniczych. Im niższą ma wartość, tym większa jest przydatność surowca do celów papierniczych [Runkel 1949]. Wskaźnik ten maleje ze spadkiem grubości ścianki (G). Jest zatem niższy dla włókien cienkościennych.

– wskaźnik Mühlstepha (ang. Mühlsteph's index), określony wzorem:

$$M = \frac{D^2 - d^2}{D^2}$$

Wskaźnik ten wykazuje odwrotnie proporcjonalną tendencję w odniesieniu do odkształcania (spłaszczenia) włókna w procesie suszenia [Mühlsteph 1941; Einspar 1964]. Im mniejszy wskaźnik Mühlstepha, tym większa tendencja do spilśniania.

– wskaźnik zwartości (ang. compactness index):

$$\frac{D^2 - d^2}{L}$$

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej, umożliwiającej określenie zarówno wpływu lokalizacji, jak i wieku drzew na poszczególne wskaźniki struktury 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.

Wyniki i dyskusja

Wartości wybranych wskaźników struktury włókien drewna brzozy brodawkowatej na poszczególnych powierzchniach badawczych, znajdujących się w różnych lokalizacjach i klasach wieku, zestawiono w tabeli 1.

WSKAŹNIK SMUKŁOŚCI. Najniższą średnią wartość wskaźnika smukłości włókien drzewnych stwierdzono w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Górowo Haweckie i wynosiła ona 62,24. Najwyższą (74,23) obliczono w drzewostanie starszym w Nadleśnictwie Płońsk. Na terenie Nadleśnictwa Górowo Haweckie średnia wartość wskaźnika smukłości włókien drewna brzozy była najniższa i wynosiła 64,78. Najwyższa średnia wartość wskaźnika smukłości włókien (73,27) została odnotowana w Nadleśnictwie Płońsk. Różnica między tymi wartościami wyniosła 13,1%. Średnia wartość wskaźnika smukłości włókien drewna brzozy brodawkowatej w północno-wschodniej Polsce wynosi 68,61 i jest wyższa od oznaczonej przez Surewicz [1971] i Szwarcstajna [1991], która równała się 50. Najmniejsza wartość wskaźnika smukłości pojedynczego włókna w badanym materiale wynosiła 36,05, a największa – 137,14.

Stwierdzono istotny wpływ zarówno wieku drzew, jak i lokalizacji stanowiska na średnią wartość wskaźnika smukłości włókien drzewnych brzozy (tab. 2). Wyższe wartości wskaźnika smukłości miały włókna w drzewostanach starszych. Wskaźnik smukłości w nadleśnictwach

Tabela 1.

Średnie wartości wskaźników struktury włókien drewna brzozy brodawkowatej
Mean values of indices of the silver birch wood fibre structure

Nadleś- nictwo	Wiek drzew	Wskaźnik smukłości	Wskaźnik giętkości	Wskaźnik sztywności [%]	Wskaźnik sztywności Runkla	Wskaźnik Mühlstepha	Wskaźnik zwartości
Płońsk	~ 45	72,31	0,151	42,46	6,24	0,9751	0,00030
	~ 70	74,23	0,216	39,22	3,93	0,9509	0,00030
	średnia	73,27	0,183	40,84	5,08	0,9630	0,00030
Sokołów Podlaski	~ 45	70,84	0,195	40,27	4,55	0,9595	0,00030
	~ 70	69,42	0,167	41,65	5,66	0,9689	0,00033
	średnia	70,13	0,181	40,96	5,11	0,9642	0,00032
Biała Podlaska	~ 45	70,76	0,186	40,70	4,89	0,9626	0,00032
	~ 70	67,89	0,202	39,91	4,43	0,9559	0,00033
	średnia	69,33	0,194	40,31	4,66	0,9592	0,00032
Płaska	~ 45	65,14	0,215	39,24	3,98	0,9507	0,00034
	~ 70	67,03	0,193	40,36	4,66	0,9599	0,00034
	średnia	66,09	0,204	39,80	4,32	0,9553	0,00034
Giżycko	~ 45	67,08	0,211	39,44	4,14	0,9521	0,00034
	~ 70	68,98	0,152	42,42	6,22	0,9749	0,00034
	średnia	68,03	0,181	40,93	5,18	0,9635	0,00034
Górowo Iławeckie	~ 45	62,24	0,231	38,44	3,64	0,9433	0,00036
	~ 70	67,33	0,157	42,13	5,86	0,9734	0,00034
	średnia	64,78	0,194	40,29	4,75	0,9584	0,00035
Średnia		68,61	0,190	40,52	4,85	0,9606	0,00033

Tabela 2.

Wpływ lokalizacji i wieku drzew na wskaźnik smukłości włókien drzewnych
Effect of the location and age of trees on the fibre felting index

Źródło zmienności	Suma kwadratów odchyień	Liczba stopni swobody	Średni kwadrat odchyień	F empiryczne
A – lokalizacja (nadleśnictwo)	16516,1	5	3303,21	23,30
B – wiek	635,571	1	635,571	4,48
Interakcja AB	3591,7	5	718,339	5,07
Błąd	304519,0	2148	141,769	
Zmienność całkowita	325262,0	2159		

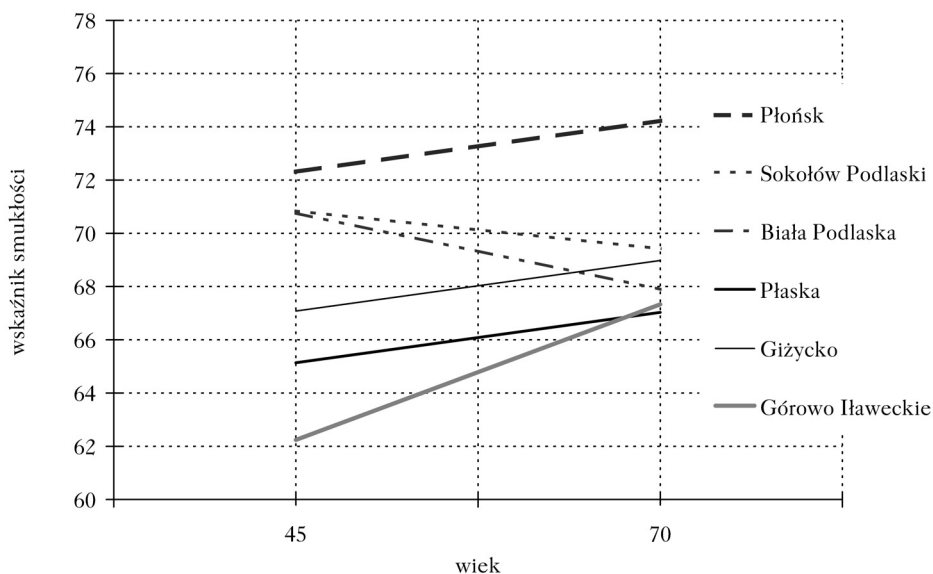
Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05;
Detailed comparison of the mean values using Tukey's procedures at a significance level of 0.05;
HSD_A=2,53102, HSD_B=1,00425

południowych wykazywał wyższe wartości w stosunku do nadleśnictw północnych. Zaobserwowano również istotny jednoczesny 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 wartości wyższe (ryc. 1).

WSKAŹNIK GIĘTKOŚCI. Wskaźnik giętkości włókien drzewnych miał najniższą średnią wartość w drzewostanie w wieku 45 lat w Nadleśnictwie Płońsk (0,151), a najwyższą (0,231) – w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Górowo Iławeckie. W nadleśnictwach Sokołów Podlaski

i Giżycko średnia wartość wskaźnika giętkości włókien drewna brzozy była najniższa i wynosiła 0,181. Najwyższa średnia wartość tego wskaźnika (0,204) została odnotowana w Nadleśnictwie Płaska (różnica 12,7%). Najmniejsza wartość wskaźnika giętkości pojedynczego włókna w badanym materiale wyniosła 0,067, a największa – 0,364.

Zaobserwowano istotny wpływ wieku drzew i lokalizacji na średnią wartość wskaźnika giętkości włókien drewna brzozy (tab. 3). Wyższe wartości opisywanego wskaźnika miały włókna w drzewostanach młodszych, co ma wpływ na lepsze ich zastosowanie do celów papierotwórczych. Stwierdzono także istotny statystycznie jednoczesny wpływ lokalizacji, z której pochodzi drewno, i wieku drzew na wartości wskaźnika giętkości włókien drzewnych. Wartość wskaźnika giętkości włókien rosła wraz z wiekiem w nadleśnictwach Płońsk i Biała Podlaska, a malała wraz z wiekiem w nadleśnictwach Sokołów Podlaski, Płaska, Giżycko i Górowo Iławskie (ryc. 2).



Ryc. 1.

Zmiany średniej wartości wskaźnika smukłości w nadleśnictwach w zależności od wieku drzew
Variation of the mean values of the felting index in forest districts depending on tree age

Tabela 3.

Wpływ lokalizacji i wieku drzew na wskaźnik giętkości włókien drzewnych
Effect of the location and age of trees on the fibre flexibility index

Źródło zmienności	Suma kwadratów odchyień	Liczba stopni swobody	Średni kwadrat odchyień	F empiryczne
A – lokalizacja (nadleśnictwo)	0,155889	5	0,0311778	11,22
B – wiek	0,158627	1	0,158627	57,09
Interakcja AB	1,16381	5	0,232762	83,78
Błąd	5,968	2148	0,0027784	
Zmienność całkowita	7,44632	2159		

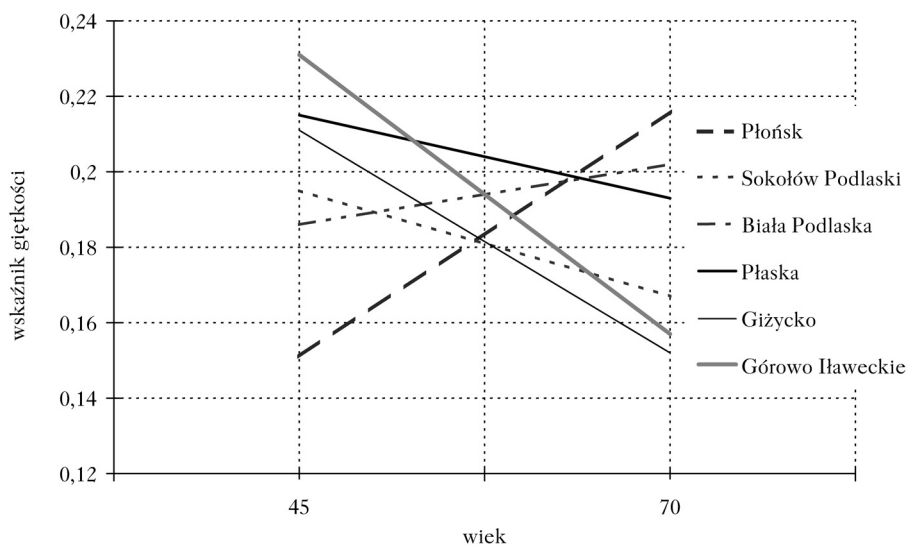
Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05

Detailed comparison of the mean values using Tukey's procedures at a significance level of 0.05

$HSD_A=0,0112047$, $HSD_B=0,00444579$

WSKAŹNIK SZTYWNOŚCI. Najniższą wartość wskaźnika sztywności włókien zanotowano w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Górowo Iławeckie (38,44%), a najwyższą – w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Płońsk (42,46%). Średnia wartość tego wskaźnika wahała się od 39,80% na terenie Nadleśnictwa Płaska do 40,96% w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski (różnica 2,9%). Najmniejsza wartość wskaźnika sztywności pojedynczego włókna w badanym materiale wynosiła 31,82%, a największa – 46,67%.

W badanym materiale stwierdzono istotny wpływ wieku drzew i lokalizacji na średnią wartość wskaźnika sztywności włókien drewna brzozy (tab. 4). Wyższe wartości wskaźnika sztywności osiągają włókna drzewne w drzewostanach starszych, co może mieć wpływ na mniejsze ich potencjalne zastosowanie do celów papierotwórczych. Stwierdzono także istotny statystycznie jednoczesny wpływ lokalizacji, z której pochodzi drewno, i wieku drzew na wartości wskaźnika sztywności włókien drzewnych. W nadleśnictwach Płońsk i Biała Podlaska wraz z wiekiem drzew wartość omawianego wskaźnika malała. W nadleśnictwach Sokołów Podlaski, Płaska,



Ryc. 2.

Zmiany średniej wartości wskaźnika giętkości w nadleśnictwach w zależności od wieku drzew
Variation of the mean values of the flexibility index in forest districts depending on tree age

Tabela 4.

Wpływ lokalizacji i wieku drzew na wskaźnik sztywności włókien drzewnych
Effect of the location and age of trees on the fibre rigidity index

Źródło zmienności	Suma kwadratów odchyień	Liczba stopni swobody	Średni kwadrat odchyień	F empiryczne
A – lokalizacja (nadleśnictwo)	389,722	5	77,9445	11,22
B – wiek	396,567	1	396,567	57,09
Interakcja AB	2909,52	5	581,904	83,78
Błąd	14920,0	2148	6,94599	
Zmienność całkowita	18615,8	2159		

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

Detailed comparison of the mean values using Tukey's procedures at a significance level of 0.05;

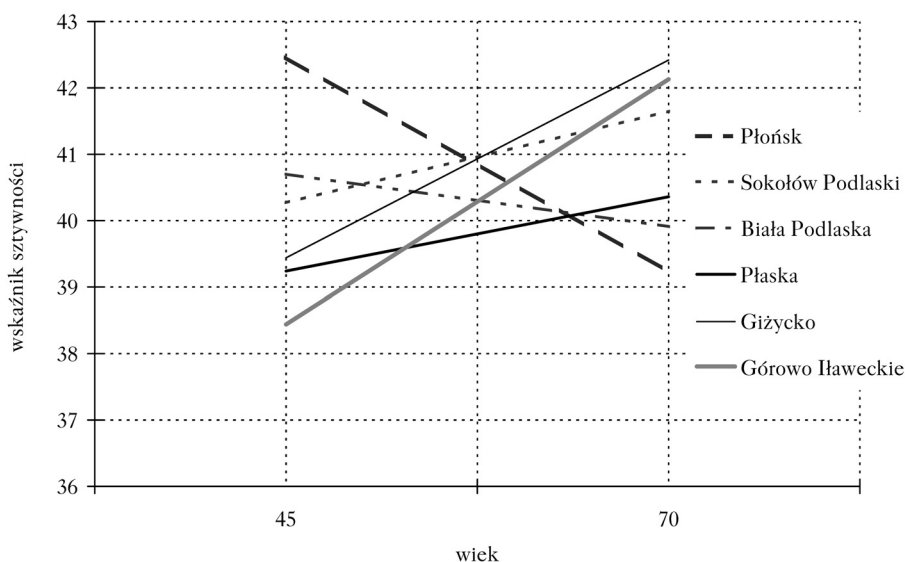
$HSD_A=0,560237$, $HSD_B=0,22229$

Giżycko i Górowo Iławeckie wartość wskaźnika sztywności przyjmowała wraz z wiekiem drzew wyższe wartości (ryc. 3).

WSKAŹNIK SZTYWNOŚCI WŁÓKIEN RUNKLA. Wskaźnik sztywności włókien drzewnych Runkla miał najniższą średnią wartość w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Górowo Iławeckie (3,64). Najwyższą (6,24) obliczono w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Płońsk. Najniższą średnią wartość tego wskaźnika oznaczono w Nadleśnictwie Płaska (4,32), a najwyższą (5,18) – w Nadleśnictwie Giżycko. Różnica wynosiła 19,9%. Średnia wartość wskaźnika sztywności Runkla włókien drewna brzozy brodawkowatej w północno-wschodniej Polsce wyniosła 4,85 i jest zdecydowanie wyższa od 0,6, czyli publikowanej przez Surewicza [1971]. Najmniejsza wartość wskaźnika sztywności Runkla pojedynczego włókna w badanym materiale wyniosła 1,75, a największa – 14,00.

Stwierdzono istotny wpływ zarówno wieku drzew, jak i lokalizacji stanowiska na średnią wartość wskaźnika sztywności Runkla włókien drzewnych brzozy (tab. 5). Wyższe wartości omawianego parametru miały włókna drewna z drzewostanów starszych. Świadczy to o mniejszym potencjalnym zastosowaniu tego surowca do celów papierniczych w porównaniu z drzewostanami młodszymi. Zaobserwowano także istotny, jednoczesny wpływ lokalizacji i wieku drzew na wartość wskaźnika sztywności Runkla. W nadleśnictwach Płońsk i Biała Podlaska im starszy był drzewostan, tym niższe wartości wskaźnika. W nadleśnictwach: Sokołów Podlaski, Płaska, Giżycko i Górowo Iławeckie wraz z wiekiem drzew wartości opisywanego wskaźnika rosły (ryc. 4).

WSKAŹNIK MÜHLSTEPHA. Wskaźnik Mühlstepha najniższą średnią wartość osiągnął w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Górowo Iławeckie (0,9433), najwyższą zaś (0,9751) – w drzewostanie młodszym Nadleśnictwa Płońsk. Najniższą średnią wartość tego parametru odnotowano w Nadleśnictwie Płaska (0,9553), a najwyższą (0,9642) – w Nadleśnictwie Sokołów Podlaski. Różnica wyniosła jedynie 0,93%. Najmniejsza wartość wskaźnika Mühlstepha pojedynczego włókna w badanym materiale wyniosła 0,8678, a największa – 0,9956.



Ryc. 3.

Zmiany średniej wartości wskaźnika sztywności w nadleśnictwach w zależności od wieku drzew
Variation of the mean values of the rigidity index in forest districts depending on tree age

Tabela 5.

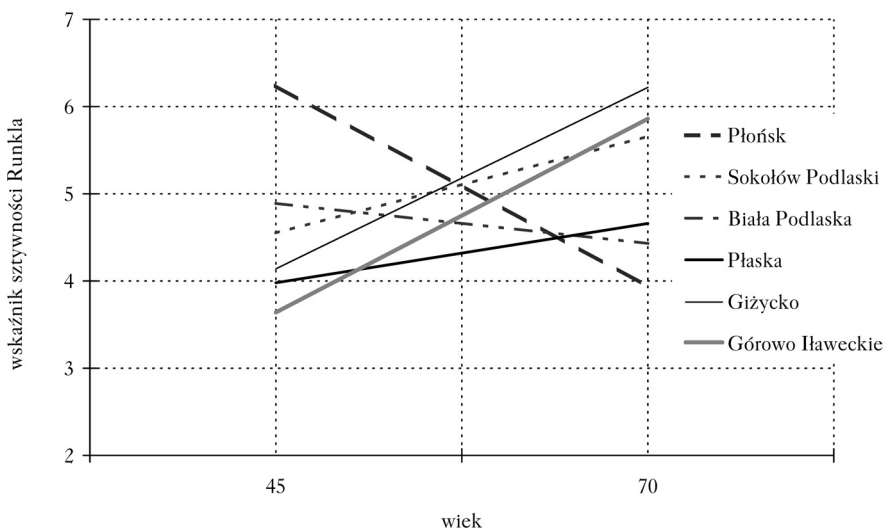
Wpływ lokalizacji i wieku drzew na wskaźnik sztywności włókien drzewnych Runkla
Effect of the location and age of trees on Runkel's rigidity index

Źródło zmienności	Suma kwadratów odchyłeń	Liczba stopni swobody	Średni kwadrat odchyłeń	F empiryczne
A – lokalizacja (nadleśnictwo)	200,308	5	40,0615	12,49
B – wiek	165,353	1	165,353	51,56
Interakcja AB	1321,41	5	264,282	82,42
Błąd	6888,03	2148	3,20672	
Zmienność całkowita	8575,1	2159		

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

Detailed comparison of the mean values using Tukey's procedures at a significance level of 0.05

$HSD_A=0,380658$, $HSD_B=0,151037$



Ryc. 4.

Zmiany średniej wartości wskaźnika sztywności Runkla w nadleśnictwach w zależności od wieku drzew
Variation of the mean values of Runkel's rigidity index in forest districts depending on tree age

Zaobserwowano istotny wpływ zarówno wieku drzew, jak i lokalizacji na średnią wartość wskaźnika Mühlstepha włókien drzewnych brzozy (tab. 6). Wyższe średnie wartości wskaźnika Mühlstepha, będącego miarą tendencji włókien do spłaszczania się w ważnych dla papiernictwa procesach prasowania i suszenia, odnotowano w drzewostanach starszych. Świadczy to o ich mniejszej tendencji do spłśniania się w porównaniu z włóknami drzew młodszych. Wykazano także istotny jednoczesny wpływ lokalizacji i wieku drzew na średnie wartości wskaźnika Mühlstepha. W nadleśnictwach Płońsk i Biała Podlaska średnia wartość wskaźnika Mühlstepha włókien malała wraz z wiekiem, w pozostałych czterech nadleśnictwach – rosła (ryc. 5).

WSKAŹNIK ZWARTOŚCI. Średnia wartość wskaźnika zwartości włókien drzewnych była najniższa w młodszym i starszym drzewostanie w Nadleśnictwie Płońsk oraz w młodszym drzewostanie Nadleśnictwa Sokołów Podlaski i wynosiła 0,00030. Najwyższą (0,00036) stwierdzono w drzewostanie młodszym w Nadleśnictwie Górowo Iławeckie. Analizując średnią wartość wskaźnika zwartości włókien drewna brzozy w zależności od lokalizacji stwierdzono, że najniższa była na

Tabela 6.

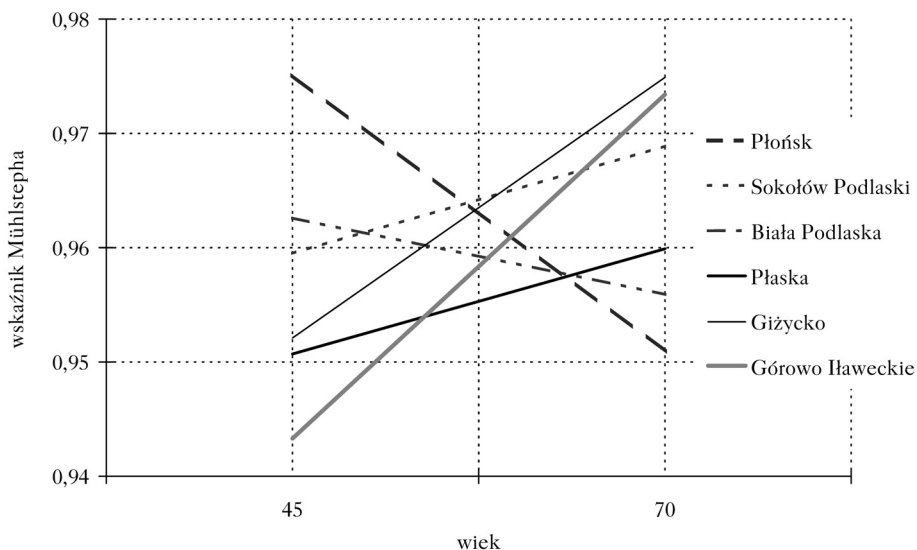
Wpływ lokalizacji i wieku drzew na wskaźnik Mühlstepha włókien drzewnych
Effect of the location and age of trees on Mühlsteph's index

Źródło zmienności	Suma kwadratów odchyień	Liczba stopni swobody	Średni kwadrat odchyień	F empiryczne
A – lokalizacja (nadleśnictwo)	0,0224846	5	0,00449692	9,66
B – wiek	0,0245632	1	0,0245632	52,78
Interakcja AB	0,17573	5	0,035146	75,52
Błąd	0,999653	2148	0,000465388	
Zmienność całkowita	1,22243	2159		

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

Detailed comparison of the mean values using Tukey's procedures at a significance level of 0.05

$HSD_A=0,00458577$, $HSD_B=0,00181953$



Ryc. 5.

Zmiany średniej wartości wskaźnika Mühlstepha w nadleśnictwach w zależności od wieku drzew
Variation of the mean values of the Mühlsteph's index in forest districts depending on tree age

terenie Nadleśnictwa Płońsk, gdzie wynosiła 0,00030. Najwyższa średnia wartość wskaźnika (0,00035) została odnotowana w Nadleśnictwie Górowo Iławeckie. Różnica wynosiła 16,7%. Najmniejsza wartość wskaźnika zawartości pojedynczego włókna w badanym materiale wynosiła 0,00009, a największa – 0,00079.

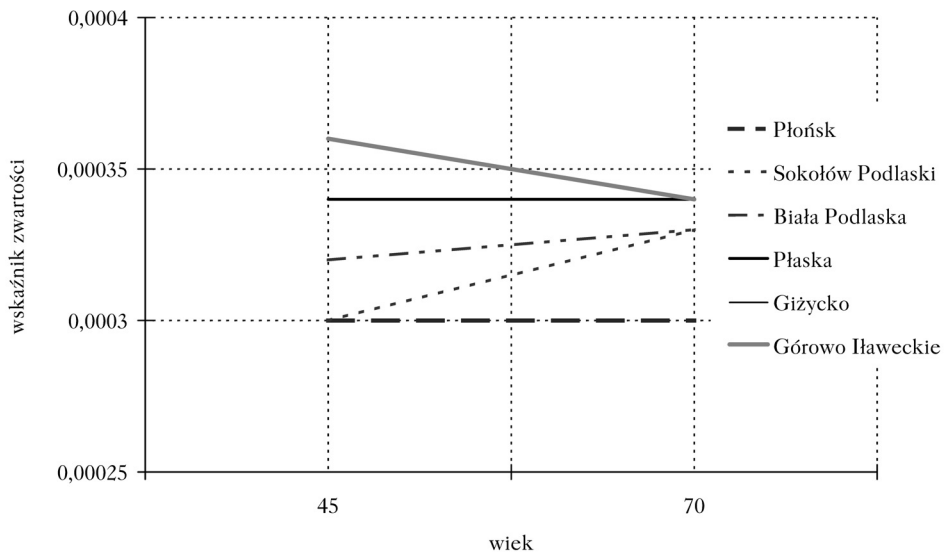
Analiza statystyczna nie wykazała w badanym materiale istotnego wpływu wieku drzew na średnią wartość wskaźnika zawartości włókien drzewnych. Udowodniono natomiast wpływ lokalizacji na wartości średnie badanej cechy (tab. 7). Wskaźnik ten w nadleśnictwach północnych wykazywał wyższe wartości w stosunku do nadleśnictw południowych. Odnotowano także istotny wpływ lokalizacji i wieku drzew na wartości wskaźnika zawartości włókien drewna brzozy. W Nadleśnictwie Górowo Iławeckie wraz z wiekiem drzew wartość wskaźnika zawartości malała. W nadleśnictwach Płońsk, Płaska i Giżycko wiek drzew nie powodował zmian wartości wskaźnika zawartości włókien drzewnych. Wzrost wartości badanego wskaźnika wraz z wiekiem obserwowano w nadleśnictwach Sokołów Podlaski i Biała Podlaska (ryc. 6).

Tabela 7.

Wpływ lokalizacji i wieku drzew na wskaźnik zwartości włókien drzewnych
Effect of the location and age of trees on the fibre compactness index

Źródło zmienności	Suma kwadratów odchyłeń	Liczba stopni swobody	Średni kwadrat odchyłeń	F empiryczne
A – lokalizacja (nadleśnictwo)	6,30697E ⁻⁷	5	1,26139E ⁻⁷	13,01
B – wiek	5,67613E ⁻⁹	1	5,67613E ⁻⁹	0,59
Interakcja AB	1,2109E ⁻⁷	5	2,4218E ⁻⁸	2,50
Błąd	0,0000208295	2148	9,69716E ⁻⁹	
Zmienność całkowita	0,000021587	2159		

Szczegółowe porównanie średnich procedurą Tukey'a przy poziomie istotności 0,05
Detailed comparison of the mean values using Tukey's procedures at a significance level of 0.05
HSD_A=0,0000143858, HSD_B=0,00000830566



Ryc. 6.

Zmiany średniej wartości wskaźnika zwartości w nadleśnictwach w zależności od wieku drzew
Variation of the mean values of the compactness index in forest districts depending on tree age

Wnioski

- ✦ Wpływ lokalizacji i wieku drzew był istotny w przypadku wszystkich średnich wartości wskaźników struktury włókien drzewnych z wyjątkiem wskaźnika zwartości. Jednocześnie istotny wpływ lokalizacji i wieku drzew stwierdzono u wszystkich badanych wskaźników.
- ✦ Włókna drzewne pochodzące z drzewostanów młodszych w porównaniu z włóknami drzewnymi pochodzącymi z drzewostanów starszych charakteryzowały się niższymi wartościami średnimi wskaźników smukłości, sztywności, sztywności Runkla oraz Mühlstepha. Wyższe wartości średnie osiągnęły włókna drzewne pochodzące z drzewostanów młodszych niż starszych tylko w przypadku wskaźnika giętkości włókien.
- ✦ Największe istotne różnice między nadleśnictwami odnotowano w przypadku wskaźnika smukłości, wskaźnika sztywności Runkla i wskaźnika zwartości.

- ✦ W nadleśnictwach Sokołów Podlaski, Płaska, Giżycko i Górowo Iławeckie wraz z wiekiem średnie wartości wskaźnika sztywności, wskaźnika sztywności Runkla i wskaźnika Mühlstepha rosną. W nadleśnictwach Płońsk i Biała Podlaska średnie wartości omawianych wskaźników wraz z wiekiem maleją.
- ✦ Najlepsze właściwości papierotwórcze ma drewno brzozy z Nadleśnictwa Płońsk ze względu na włókna o najwyższym wskaźniku smukłości (najdłuższe włókna przy najmniejszej średnicy), z Nadleśnictwa Płaska ze względu na największy wskaźnik giętkości włókien (największa średnica lumenu), najmniejsze wartości wskaźników sztywności i sztywności Runkla oraz najniższy wskaźnik Mühlstepha (największa tendencja do spילśniania).
- ✦ Udowodnione zmiany wskaźników struktury włókien drewna brzozy brodawkowatej mogą mieć wpływ na dalsze gospodarcze wykorzystanie tego wartościowego surowca w procesie produkcji mas włóknistych i przemyśle celulozowo-papierniczym.
- ✦ Wydaje się zasadne podjęcie badań nad strukturą włókien drewna brzozy brodawkowatej według powyższej metodyki pracy w innych bazach surowcowych tego gatunku w Polsce.

Literatura

- Einspar D. W. 1964. Tappi. 47 (4): 130.
- Galewski W., Korzeniowski A. 1958. Atlas najważniejszych gatunków drewna. Warszawa, PWRiL.
- 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.
- Jayne G., Hunger G. 1958. Fundamentals of Papermaking Fibres (Balam). Kenley.
- Jayne G., Hunger G. 1962. Formation and Structure of Paper (Balam). London, t. I. 135.
- 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.
- Lachowicz H. 2010. Struktura włókien drewna brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) w północno-wschodniej Polsce. Leśne Prace Badawcze 71 (1): 39-50.
- Mühlsteph W. 1941. Die Bedeutung der Fasergestalt für die Zellstoffeigenschaften. IV. Mitteilung. Zur anatomischen Betrachtung von Zellstoffhölzern und -Fasern. Wbl. Papierfabr. 72: 201-224.
- 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. 781-792.
- 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, ser. A 44: 77-86.
- Onisko W. 1970. Technologia płyt pilśniowych. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa.
- Paschalis P., Staniszewski P. 1992. Założenia metodyczne oznaczania wytrzymałości drewna pochodzącego z drzewostanów będących pod wpływem zanieczyszczeń przemysłowych. XVI Sympozjum – Ochrona drewna, Wydawnictwo SGGW, Warszawa. 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, Wydawnictwo SGGW, Warszawa. 123-126.
- Przybysz K. 2005a. System kontroli jakości masy włóknistej. Cz. I. Cel i zadania systemu. Przegląd papierniczy 61 (2): 87-90.
- Przybysz K. 2005b. System kontroli jakości masy włóknistej. Cz. II. Wymiary i kształt włókien. Przegląd papierniczy 61 (4): 212-216.
- Przybysz K. 2005c. Metody pomiaru odkształcalności włókien papierniczych mas włóknistych. Przegląd papierniczy 61 (11): 689-693.
- Runkel R. O. 1949. Papier 3 (23/24): 476.
- Smook G. A. 1992. Handbook for Pulp & Paper Technology. Angus Wilde Publications Inc. Vancouver.
- Surewicz W. 1971. Podstawy technologii mas włóknistych. Warszawa, WNT.
- Surma-Ślusarska B., Surewicz W. 1985. Wpływ wieku drzew i siedliska na wydajność i właściwości mas celulozowych siarczanowych. Folia Forestalia Polonica, ser. B 16: 67-86.
- Szwarczajtajn E. 1991. Przygotowanie masy papierniczej. WN-T, Warszawa 25.
- Tamolang F. N., Wangaard F. F. 1961. Tappi 44 (3): 201.
- Wagenführ R., Scheiber Chr. 2007. Holzatlas. Leipzig, VEB Fachbuchverlag.
- Wanin S. 1953. Nauka o drewnie. PWRiL, Warszawa.

SUMMARY

Variability of the wood fibre structure indices for silver birch (*Betula pendula* Roth.) in north-eastern Poland

The results presented in this study are the continuation of a wider research carried out at the Department of Forest Utilization, Warsaw University of Life Sciences – SGGW on the technical quality of wood of silver birch and other major forest-forming species in Poland.

The effect of the location and age of trees and the interrelatedness of these factors on the indices characterizing the shape and cross-sectional wood fibre dimensions for the silver birch trees growing in the selected type of forest habitat were investigated. The studies were conducted in north-eastern Poland which, according to practitioners, is the largest and potentially richest source of silver birch timber. Twelve sample plots were selected in each of the forest districts: Płońsk, Sokołów Podlaski, Biała Podlaska, Płaska, Giżycko and Górowo Iławeckie and two stands at the age of 45 and 70 years were singled out in each of them.

Those indices were selected which best characterized the cross-sectional dimensions of wood fibres (diameter, wall thickness, lumen diameter), their proportions and shape and those which had a decisive influence on the use of birch wood for fibre pulp production and the pulp and paper industry.

The research confirmed that the location and age of trees had a significant effect on all mean values of fibre structure indices except for the effect of age on the mean values of the compactness index. A significant, simultaneous effect was found of the location and age of trees on the mean values of all investigated fibre structure indices.

The wood fibres from younger stands as compared to the wood fibres from older stands were characterized by lower mean values of felting, rigidity, rigidity according to Runkel and Mühlstehp's index. The mean values of wood fibres from younger stands were higher than from older stands only in the case of fibre flexibility index. The largest significant differences between analysed forest districts were noted for the felting, rigidity according to Runkel and compactness indices. The mean values of the rigidity, rigidity according to Runkel and Mühlstehp's indices for birch wood from the Sokołów Podlaski, Płaska, Giżycko and Górowo Iławeckie forest districts increased with age, while the studied indices of wood from the Płońsk and Biała Podlaska forest districts decreased. The birch wood from the Płońsk Forest Districts has the highest papermaking properties due to the highest fibre felting index (the longest fibres of the smallest diameter) and from the Płaska Forest Districts because of the highest fibre flexibility index (largest lumen diameter), the lowest values of the rigidity, Runkel's and Mühlstehp's indices (the highest felting rates).