

ARKADIUSZ TOMCZAK

## WSPÓLCZYNNIK JAKOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ DREWNA MŁODOCIANEGO SOSNY ZWYCZAJNEJ (*Pinus sylvestris* L.) I JEGO ZMIENNOŚĆ NA PRZEKROJU PODŁUŻNYM PNIA

STRENGTH QUALITY COEFFICIENT OF SCOTS PINE JUVENILE WOOD (*Pinus sylvestris* L.)  
AND THEIR VARIABILITY ON THE LONGITUDINAL CROSS SECTION OF THE TRUNK

**Abstract.** The technical value of wood is high if the strength and density ratio is high. Theoretically this means that high strength and low density material will offer higher technical value. The strength and density ratio is referred to as the strength quality coefficient. It is the basis for comparing various materials. The author analysed the axial variability of the strength quality coefficient when fibres are compressed lengthwise and when juvenile wood is statically bent. Therefore, the study related to wood obtained at various stages of tree life.

The research material was collected from 72 trees growing in 8 mature pinewood stands. The value of the strength quality coefficient when compressed along fibres ( $J_z$ ) was calculated with reference to 1,320 samples while the value for static bending ( $J_s$ ) with reference to 1,281 samples. Each pool of data was divided into sub-pools in line with the adopted longitudinal cross section of the trunk. The first sub-pool represented the breast height diameter. The location of the subsequent sub-pools was identified with reference to relative values by making marks corresponding with 20, 40, 60 and 80% of the tree height.

The average value of the strength quality coefficient for compression along fibres amounted to 5.37 km while for static bending it amounted to 10.97 km. For compressing and bending alike, the coefficients grew from the breast height diameter to a level representing 40% of the tree height. Once this threshold was crossed, the coefficients tended to decrease and reached the lowest value at the level located closest to the tree top. The most valuable juvenile wood was detected between 20 – 40% of the tree height. These are the height brackets where the trunk is exposed to extremely intense stresses resulting from, for example, wind and the location where wood tends to break most frequently.

**Key words:** resistance to compressing along fibres, resistance to static bending, wood density, tree biomechanics

### WSTĘP

Drewno jest materiałem bardzo zróżnicowanym na poszczególnych poziomach strukturalnych. Niejednorodność drewna to jednocześnie cecha naturalna (genetyczna) i przejaw przystosowania się drzewa do lokalnych warunków wzrostu i rozwoju. W umiarko-

wanej strefie klimatycznej naturalna zmienność drewna wynika z cyklicznie powtarzających się okresów wzrostu i spoczynku. Jest to szczególnie widoczne u gatunków iglastych, w których w przyroście rocznym grubości wyodrębnić można 2 typy drewna, wczesne i późne. Różnią się one zarówno budową, jak i spełnianą w pniu drzewa funkcją. Innym wyrazem naturalnej niejednorodności tkanki drzewnej jest zróżnicowanie drewna na młodociane i dojrzałe. Drewno młodociane położone jest w centralnej części przekroju poprzecznego pnia i obejmuje od kilku do kilkunastu słoje rocznych [Helińska–Raczkowska, Fabisiak 1995; Csoka i in. 2005; Alteyrac i in. 2006; Pazdrowski i in. 2010]. Drewno dojrzałe otacza młodociane pierścieniem.

W porównaniu do drewna dojrzałego, młodociane jest mniej wytrzymałe mechanicznie [Gryc i in. 2011]. To zróżnicowanie jest prawdopodobnie związane z biomechaniką pnia. Centralna część przekroju poprzecznego pnia nie podlega tak silnym naprężeniom jak część przyobwodowa. Jej wytrzymałość może być wobec tego mniejsza. Znaczenie ma także waga, wynikająca z niższej gęstości drewna młodocianego [Tomczak i in. 2010]. Na pień drzewa działają zarówno siły zewnętrzne, jak i te wynikające z jego masy własnej oraz z masy korony. Techniczna wartość drewna jest wysoka, jeśli stosunek wytrzymałość do gęstości ma również wysoką wartość. Teoretycznie oznacza to, że materiał o wysokiej wytrzymałości i niskiej gęstości ma wyższą wartość techniczną. Stosunek wytrzymałości do gęstości nazywany jest współczynnikiem jakości wytrzymałościowej. Na jego podstawie porównuje się różne materiały. W odniesieniu do drewna współczynnik jakości wytrzymałościowej daje możliwość porównania materiału w licznych kombinacjach. Jakubowski i in. [2005] wykazali, że na promieniowy rozkład wartości współczynnika w pewnym stopniu wpływa pozycja biosocjalna drzewa w drzewostanie. Z badań Jelonka [2013] wynika, że różnica wartości technicznej występuje między drewnem z drzew wyrosłych w warunkach gruntów leśnych i porolnych. Natomiast Tomczak i Jelonek [2012], porównując drewno młodociane i dojrzałe sosny zwyczajnej, nie stwierdzili między nimi istotnych różnic.

Drewno młodociane występuje na całej długości pnia, dojrzałe tylko na jego części [Tomczak i in. 2007a]. Oznacza to, że w pniach dojrzałych drzew w dolnej części strzały przyrost roczny grubości wykazuje cechy drewna dojrzałego, natomiast w części wierzchołkowej ten sam przyrost charakteryzuje się budową i właściwościami drewna młodocianego. Różnice występują także w obrębie strefy młodocianej, ponieważ w poszczególnych częściach pnia jej dojrzałość ontogenetyczna jest inna, co zdaniem Burdona i in. [2004] powinno być podstawą do odrzucenia klasycznego podziału przekroju poprzecznego pnia na drewno młodociane i dojrzałe, a stosowania go wyłącznie w odniesieniu do przekroju podłużnego. Według Tomczaka i in. [2007b] w części odziomkowej pnia szerokość słojeń tworzących strefę drewna młodocianego jest zdecydowanie wyższa w porównaniu do szerokości słojeń tworzących drewno młodociane w wierzchołkowej części pnia. Odpowiednie różnice obserwować można także w stosunku do udziału drewna późnego. Drewno młodociane z części wierzchołkowej charakteryzuje się jego wyższym udziałem, pomimo to jego gęstość i wytrzymałość jest niższa [Pikk, Kask 2004; Tomczak 2008; Tomczak i in. 2008; Tomczak, Jelonek 2012]. Ta niejednorodność jest prawdopodobnie uwarunkowana genetycznie i spełnia swoistą rolę w biomechanice drzewa. Dotychczasowe badania nad zmiennością drewna młodocianego

opierały się na analizach poszczególnych parametrów technicznych. Współczynnik jakości wytrzymałościowej łączy różne właściwości i wyraża je jedną wartością. W pracy przeanalizowano zmienność osiową współczynnika jakości wytrzymałościowej przy ścisnaniu wzdłuż włókien i przy zginaniu statycznym drewna młodocianego, czyli wykształconego w różnych okresach życia drzewa.

## METODYKA BADAŃ

Materiał badawczy zebrano z 72 drzew, z 8 dojrzałych drzewostanów sosnowych, wyrosłych na typie siedliskowym lasu, w borze mieszanym świeżym. Do badań wybrano drzewostany charakteryzujące się taką samą bonitacją (I) i zwarcim (przerwane) oraz zbliżonym wiekiem (82-89 lat), pierśnicą (31-37 cm) i wysokością (24-27 m). Obszar badań: Pomorze Środkowe, RDLP w Szczecinku.

Wartość współczynnika jakości wytrzymałościowej przy ścisnaniu wzdłuż włókien ( $J_z$ ) obliczono na podstawie 1320 prób, natomiast przy zginaniu statycznym ( $J_s$ ) na podstawie 1281 prób. Każdy ze zbiorów danych podzielono na podzbiory, zgodnie z przyjętym podziałem sekcji wzdłuż pnia drzewa. Pierwszy podzbiór reprezentował poziom pierśnicy. Położenie kolejnych określono wartościami względnymi, wyznaczając punkty w miejscach odpowiadających 20, 40, 60 i 80% wysokości drzewa.

Współczynnik jakości wytrzymałościowej jest stosunkiem wytrzymałości i gęstości drewna [Kokociński 2004]. Gęstość drewna określono metodą stereometryczną [PN-77/D-04101]. Objętość próbek badana była w stanie maksymalnego spęcznienia, wagę określono w stanie suchym. Badania wytrzymałościowe wykonano również na próbkach mokrych – w stanie maksymalnego spęcznienia. Przy ścisnaniu kierunek siły był równoległy do przebiegu włókien, przy zginaniu prostopadły. Procedury pomiarowe oparto na: PN-77/D-04103 (Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na zginanie statyczne), PN-79/D-04102 (Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na ścisnienie wzdłuż włókien).

Analizy statystyczne przeprowadzono za pomocą aplikacji Statistica. Badanie zgodność rozkładu cechy z rozkładem normalnym przeprowadzono testem Shapiro-Wilka. Natomiast testem U Manna-Whitneya sprawdzono, czy wartości opisujące populacje są jednakowo duże.

## WYNIKI BADAŃ

Przeciętna wartość współczynnika jakości wytrzymałościowej drewna przy ścisnaniu wzdłuż włókien ( $J_s$ ) wynosiła 5,37 km, przy odchyleniu standardowym 0,79 km i współczynniku zmienności rzędu 14,69%. Mediana była równa średniej, na wynik nie wpłynęły więc próby o wartościach skrajnie odstających. Na poziomie pierśnicy wartość  $J_s$  wyniosła 5,24 km, wyżej na poziomie odpowiadającym 20% wysokości drzewa,  $J_s$  był wyższy o 0,25 km (4,7%). Najwyższą wartość współczynnika  $J_s$  stwierdzono na poziomie odpowiadającym 40% wysokości drzewa. W odniesieniu do pierśnicy stwierdzono różnicę rzędu 0,32 km (6,1%), a w stosunku do poziomu 20% – 0,07 km (1,3 %).

Tab. 1. Współczynnik jakości wytrzymałościowej przy ściskaniu wzdłuż włókien drewna młodocianego sosny zwyczajnej na przekroju podłużnym pnia od wysokości pierśnicy (poziom  $d_{1,3}$ ) do 80% wysokości drzewa. Charakterystyka statystyczna

Tab. 1. Strength quality coefficient when juvenile pinewood is compressed along fibres on a vertical section of a trunk from the breast height diameter (level  $d_{1,3}$ ) to 80% of the tree height. Statistical characteristics

Poziom	Średnia [km]	n	SD [km]	VC [%]	Min.	Max	Q25	Mediana	Q75
$d_{1,3}$	5,24	282	0,88	16,81	2,18	8,66	4,59	5,31	5,78
20%	5,49	286	0,81	14,69	2,99	8,58	4,98	5,50	6,01
40%	5,56	274	0,73	13,18	3,45	8,16	5,07	5,58	6,08
60%	5,37	278	0,71	13,26	3,53	9,52	4,96	5,30	5,72
80%	5,11	200	0,70	13,71	2,14	7,51	4,69	5,16	5,51
Ogół grup	5,37	1320	0,79	14,69	2,14	9,52	4,90	5,37	5,87

Tab. 2. Wyniki testu U Manna-Whitneya dla współczynnika jakości wytrzymałościowej przy ściskaniu wzdłuż włókien drewna młodocianego sosny zwyczajnej na przekroju podłużnym pnia od wysokości pierśnicy (poziom  $d_{1,3}$ ) do 80% wysokości drzewa

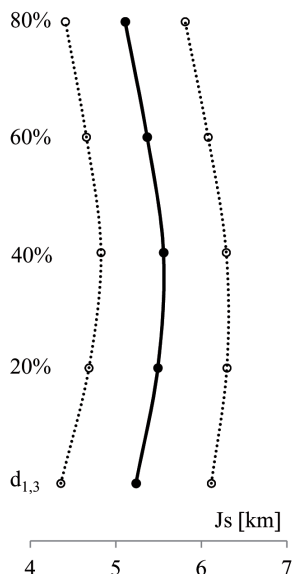
Tab. 2. Results of U Mann – Whitney test for the strength quality coefficient when compressing along juvenile pinewood fibres on a vertical section of a trunk from the breast height diameter (level  $d_{1,3}$ ) to 80% of the tree height

	$d_{1,3}$	20%	40%	60%	80%
$d_{1,3}$	---				
20%	<b>0,000245</b>	---			
40%	<b>0,000002</b>	0,242291	---		
60%	0,119247	<b>0,014622</b>	<b>0,000211</b>	---	
80%	0,064824	<b>0,000000</b>	<b>0,000000</b>	<b>0,000282</b>	---

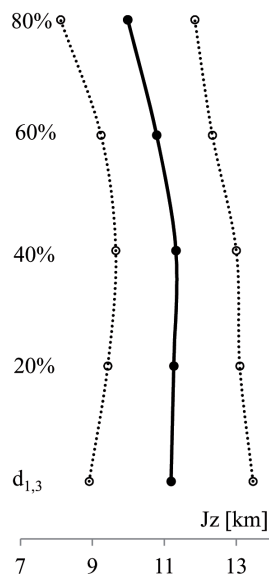
Zaznaczone efekty są istotne przy  $p < 0,05$ .

W dolnej części strzały wartość współczynnika stopniowo rosła, w wierzchołkowej malała (ryc. 1). W porównaniu do maksimum (40% wysokości drzewa) na poziomie odpowiadającym 60% wysokości drzewa  $J_s$  był niższy o 0,19 km, natomiast na poziomie 80% o 0,45 km (tab. 1). Różnice pomiędzy poszczególnymi poziomami w znacznej mierze były istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ). Zbliżone wartości (brak istotnie statystycznych różnic) stwierdzono między poziomami  $d_{1,3}$  – 60%,  $d_{1,3}$  – 80% oraz 20% – 40% (tab. 2).

Przeciętna wartość współczynnika jakości wytrzymałościowej drewna przy zginaniu statycznym ( $J_s$ ) wynosiła 10,97 km, przy odchyleniu standardowym 1,91 km i współczynnikiem zmienności rzędu 17,4%. Mediana była zbliżona do średniej. Podobnie do  $J_z$  na wynik nie wpłynęły więc próby o skrajnych wysokich lub niskich wartościach. Wartość  $J_z$  w dolnej części strzały stopniowo rosła (ryc. 2). Różnica między  $d_{1,3}$  a poziomem położonym na 20% wysokości drzewa wynosiła 0,07 km (0,6%) i nie była istotna statystycznie. Między poziomami 20% i 40% różnica była jeszcze mniejsza, rzędu



Ryc. 1. Osiowa zmienność współczynnika jakości wytrzymałościowej przy ściskaniu wzdłuż włókien wraz z odchyleniem standardowym od wysokości pierśnicy (poziom  $d_{1,3}$ ) do 80% wysokości drzewa  
Fig. 1. Axial variability of the strength quality coefficient when compressed along fibres including standard deviation from the breast height perimeter (level  $d_{1,3}$ ) to 80% of tree height



Ryc. 2. Osiowa zmienność współczynnika jakości wytrzymałościowej przy zginaniu statycznym wraz z odchyleniem standardowym od wysokości pierśnicy (poziom  $d_{1,3}$ ) do 80% wysokości drzewa  
Fig. 2. Axial variability of the strength quality coefficient for static bending including standard deviation from the breast height perimeter (level  $d_{1,3}$ ) to 80% of tree height

Tab. 3. Współczynnik jakości wytrzymałościowej przy zginaniu statycznym drewna młodocianego sosny zwyczajnej na przekroju podłużnym pnia od wysokości pierśnicy (poziom  $d_{1,3}$ ) do 80% wysokości drzewa. Charakterystyka statystyczna

Tab. 3. Strength quality coefficient when juvenile pinewood is statically bent on a vertical section of a trunk from the breast height diameter (level  $d_{1,3}$ ) to 80% of the tree height. Statistical characteristics

Poziom	Średnia [km]	n	SD [km]	VC [%].	Min.	Max	Q25	Mediana	Q75
$d_{1,3}$	11,19	272	2,28	20,35	4,82	19,85	9,73	11,22	12,57
20%	11,26	278	1,84	16,30	6,96	16,35	10,05	11,13	12,55
40%	11,32	268	1,68	14,80	6,40	16,96	10,29	11,31	12,29
60%	10,79	274	1,55	14,36	5,54	15,42	9,77	10,81	11,79
80%	9,98	189	1,87	18,69	4,26	21,13	8,76	10,06	11,13
Ogół grup	10,97	1281	1,91	17,40	4,26	21,13	9,79	10,98	12,12

Tab. 4. Wyniki testu U Manna-Whitneya dla współczynnika jakości wytrzymałościowej przy zginaniu statycznym drewna młodocianego sosny zwyczajnej na przekroju podłużnym pnia od wysokości pierśnicy (poziom  $d_{1,3}$ ) do 80% wysokości drzewa

Tab. 4. Results of U Mann – Whitney test for the strength quality coefficient when juvenile pinewood is statically bent on a vertical section of a trunk from the breast height diameter (level  $d_{1,3}$ ) to 80% of the tree height

	$d_{1,3}$	20%	40%	60%	80%
$d_{1,3}$	---				
20%	0,706563	---			
40%	0,400841	0,616283	---		
60%	<b>0,012960</b>	<b>0,001858</b>	<b>0,000080</b>	---	
80%	<b>0,000000</b>	<b>0,000000</b>	<b>0,000000</b>	<b>0,000000</b>	---

Zaznaczone efekty są istotne przy  $p < 0,05$ .

0,06 km. Ona także nie była istotna statystycznie. Na poziomie 40% stwierdzono najwyższą wartość Jz. Powyżej, na poziomie 60%, współczynnik był niższy o 0,53 km (4,9%) – różnica istotna statystycznie. Między 60% a 80% wartość współczynnika spadła o 0,81 km (9,9%) (tab. 3). Generalnie wartości Jz uzyskane dla poziomów położonych bliżej podstawy pnia różniły się istotnie statystycznie od wartości uzyskanych dla poziomów położonych w części wierzchołkowej (tab. 4).

## PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wyniki dotyczące zmienności współczynników jakości wytrzymałościowej przy ściskaniu wzdłuż włókien i zginaniu statycznym drewna młodocianego na przekroju podłużnym pnia sosny zwyczajnej. Przeciętna wartość współczynnika jakości wytrzymałościowej przy ściskaniu wzdłuż włókien wyniosła 5,37 km, natomiast przy zginaniu statycznym – 10,97 km. Zbliżone wartości otrzymał Jelonek [2013]. Zmienność osiową współczynników określono na podstawie 5 punktów pomiarowych położonych w różnej odległości od podstawy pnia. Zarówno przy ściskaniu jak i zginaniu wartości współczynników rosły od poziomu pierśnicy aż do poziomu odpowiadającemu 40% wysokości drzewa. Po przekroczeniu tego punktu wartości współczynników malały, najniższą wartość osiągając na poziomie położonym najbliżej wierzchołka drzewa. Na przekroju podłużnym pnia trend zmian analizowanych współczynników ma więc inny charakter niż trend opisujący zmienność osiową wybranych parametrów technicznych drewna, takich jak na przykład gęstość czy wytrzymałość drewna na ściskanie wzdłuż włókien. Wytrzymałość drewna młodocianego maleje proporcjonalnie do wzrostu odległości od podstawy pnia [Helińska-Raczkowska, Fabisiak 1994; Tomczak, Jelonek 2012]. Zmiany te są prawdopodobnie związane z rozwojem drzewa i funkcjonalnością jego układu biomechanicznego. Z wiekiem kambialnym różnicują się zarówno struktura, jak i właściwości drewna [Kärenlampi, Riekkinen 2004; Moliński, Krauss

2008]. W różnych częściach przekroju poprzecznego pnia efekt ten nie będzie jednak taki sam, ponieważ w części odziomkowej drewno przyrzedzeniowe będzie drewnem fizjologicznie i ontogenetycznie młodym, natomiast w części wierzchołkowej fizjologicznie młodym ontogenetycznie dojrzałym. Kierując się tym założeniem, osiową niejednorodność analizowali Jyske i in. [2008]. Na każdym etapie swojego rozwoju drzewa dążą do wykształcenia tkanki drzewnej optymalnej zarówno pod względem fizjologicznym, jak i mechanicznym. Biorąc pod uwagę osiowy rozkład naprężeń występujących w pniu drzewa przypuszczać można, że w części wierzchołkowej funkcje mechaniczne drewna nie będą odgrywać tak istotnej roli jak w częściach położonych niżej.

W kształtowaniu się stabilności drzew ważną rolę odgrywają smukłość, położenie środka ciężkości drzewa oraz długość i objętość korony [Jelonek i in. 2013]. Jakubowski i in. [2005] stwierdzili, że wielkość korony wyrażona objętością oraz wysokość położenia jej środka ciężkości wywierają istotny wpływ na promieniową zmienność współczynnika jakości wytrzymałościowej. Jelonek [2013] połączył współczynnik smukłości, opisujący stabilność drzewa, ze współczynnikiem jakości wytrzymałościowej, opisującym wartość techniczną drewna, w jeden wskaźnik. Zdaniem autora, biomechaniczna stabilność drzewa zależy w równej mierze od jego cech biometrycznych, jak i właściwości technicznych tkanki drzewnej.

Współczynnik jakości wytrzymałościowej drewna jest dobrym wskaźnikiem jakości drewna. Im wyższa będzie jego wartość, tym lepszymi parametrami technicznymi będzie się cechowało drewno. Z przeprowadzonych badań wynika, że na przekroju podłużnym pnia sosny zwyczajnej najbardziej wartościowe drewno młodociane występuje między 20 a 40% wysokości drzewa. Z zaprezentowanych przez Jaworskiego [1991] badań innych autorów wynika, że wysokości złamań drzew wahają się od 0,25 do 0,38, a więc w przedziale, w którym uzyskane współczynniki mają najwyższe wartości. Wiatrolomy powstają, gdy całkowity moment zginający przewyższa wytrzymałość strzały na złamanie. Biorąc pod uwagę zmienność współczynnika jakości wytrzymałościowej przy zginaniu statycznym drewna maksymalnie nasyconego, który dość dobrze odzwierciedla jakość tkanki drzewnej w żywych drzewach, zauważyć można, że w części odziomkowej różnice między poziomami są niewielkie, statystycznie nieistotne. Jest to część pnia poddawana bardzo silnym naprężeniom wynikającym zarówno z masy własnej pnia i korony, jak i z oddziaływania sił zewnętrznych. Wysoka wartość techniczna oraz duża jednorodność drewna z punktu widzenia biomechaniki są więc uzasadnione.

## LITERATURA

- Alteyrac J., Cloutier A., Zhang S. Y. (2006): Characterization of juvenile wood to mature wood transition age in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) at different stand densities and sampling heights. *Wood Science and Technology* 40(2):124-138.
- Burdon D. R., Kibblewhite R. P., Walker J. C. F., Megraw R. A., Evans R., Cown D. J. (2004): Juvenile versus mature wood: a new concept, orthogonal to corewood versus outerwood, with special reference to *Pinus radiata* and *Pinus taeda*. *Forest Science* 50(4):399-415.
- Csoka L., Zhu J., Takata K. (2005): Application of the Fourier analysis to determine the demarcation between juvenile and mature wood. *J. Wood Sci.* 51:309-311.

- Gryc V., Vavrčik H., Horn K. (2011): Density of juvenile and mature wood of selected coniferous species. *J. For. Sci.* 57(3):123-130.
- Helínska-Raczkowska L., Fabisiak E. (1994): Zmienność wybranych cech budowy drewna młodocianego drewna sosny wzdłuż wysokości drzew. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu* 262:3-13.
- Helínska-Raczkowska L., Fabisiak E. (1995): Długość młodocianego okresu przyrostu na grubość drzew brzozy (*Betula pendula* Roth.). *Sylvan* 139(12):77-84.
- Jakubowski M., Tomczak A., Jelonek T., Pazdrowski W. (2005): Radial variability of the strength quality coefficient of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood in relation to the tree biosocial position in the stand. *EJPAU* 8(3):08.
- Jelonek T. (2013): Biomechaniczna stabilność drzew a wybrane właściwości fizyczne, mechaniczne i strukturalne ksylemu sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach gruntów porolnych i leśnych. *Rozprawy Naukowe* 455, UP w Poznaniu.
- Jelonek T., Walkowiak R., Jakubowski M., Tomczak A. (2013): Wskaźniki stabilności drzew w drzewostanach sosnowych uszkodzonych przez wiatr. *Sylvan* 157(5):323-329.
- Jyske, T., Mäkinen, H. & Saranpää, P. (2008): Wood density within Norway spruce stems. *Silva Fennica* 42(3):439-455.
- Kärenlampi P. P., Riekkinen M. (2004): Maturity and growth rate effects on Scots pine basic density. *Wood Sci. Technol.* 38:465-473.
- Kokociński W. (2004): Drewno. Pomiar właściwości fizycznych i mechanicznych. Wydawnictwo-Drukarnia PRODRUK.
- Moliński W., Krauss A. (2008): Radial gradient of modulus of elasticity of wood and tracheid cell walls in dominant pine trees (*Pinus sylvestris* L.). *Fol. For. Pol.* B39:19-29.
- Pazdrowski W., Borysiak S., Nawrot M., Szymański M. (2010): Stopień krystaliczności celulozy jako wskaźnik dojrzałości tkanki drzewnej. *Sylvan* 154(1):818-827.
- Pikk J., Kask K. (2004): Mechanical properties of juvenile wood of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on Myrtilus forest site type. *Baltic Forestry* 10(1):72-78.
- PN-77/D-04101 (1977): Drewno. Oznaczanie gęstości.
- PN-77/D-04103 (1977): Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na zginanie statyczne.
- PN-79/D-04102 (1979): Drewno. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie wzdłuż włókien.
- Tomczak A. (2008): Basic density of juvenile wood and its variation in stem profile of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Ann. WULS – SGGW, For. and Wood Technol.* 66:151-154.
- Tomczak A., Jelonek T. (2012): Parametry techniczne młodocianego i dojrzałego drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Sylvan* 156(9):695-702.
- Tomczak A., Jelonek T., Zoń L. (2010): Porównanie wybranych właściwości fizycznych drewna młodocianego i dojrzałego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z drzewostanów rębnych. *Sylvan* 154(12):809-817.
- Tomczak, A., Pazdrowski, W., Jelonek, T. (2007a): Distribution of intermediate and mature wood on the longitudinal cross section of the tree trunk and selected biometric traits of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Baltic Forestry* 13(1):116-125.
- Tomczak A., Pazdrowski W., Jelonek T., Stypuła I. (2007b): Vertical variability of selected macrostructural properties of juvenile wood organization in trunks of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 76(1):27-33.
- Tomczak A., Pazdrowski W., Jelonek T., Szaban J., Jakubowski M. (2008): Variability in selected macrostructural characteristics of juvenile wood in stems of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Ann. WULS – SGGW, For. and Wood Technol.* 66:146-150.
- Zajączkowski J. (1991): Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. Wydawnictwo Świat. Warszawa.

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Arkadiusz Tomczak  
Katedra Użytkowania Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
ul. Wojska Polskiego 71 A  
60-625 Poznań  
arkadiusz.tomczak@up.poznan.pl