

WPŁYW PROCESÓW STARZENIA SIĘ DRZEW NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE TKANKI DRZEWNEJ SOSNY ZWYCZAJNEJ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

Katarzyna Klimek[✉], Tomasz Jelonek, Arkadiusz Tomczak

Katedra Użytkowania Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wojska Polskiego 71A, 60-625 Poznań

ABSTRAKT

W pracy przedstawiono charakterystykę wybranych cech fizycznych drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) rosnącej w drzewostanach przeszłębnych. Celem badań była analiza wpływu starzenia się drzew na wybrane właściwości fizyczne drewna. Badania przeprowadzono w trzech przeszłębnych drzewostanach sosnowych zlokalizowanych na terenie Nadleśnictwa Łopuchówko (obszar Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina), Nadleśnictwa Bolewice oraz Nadleśnictwa Warcino. Wybór powierzchni badawczych był determinowany przede wszystkim wiekiem drzewostanów, w których składzie dominowała sosna, w wieku co najmniej 150 lat. W każdym z drzewostanów wybrano trzy drzewa modelowe, które ścięto i pobrano z nich próbki do analiz właściwości drewna, tj. gęstości i adsorpcji wody. W badaniach wykazano występowanie wpływu procesu starzenia się drzew na zróżnicowanie opisywanych właściwości fizycznych drewna. Uzyskane wyniki wskazują, iż po przekroczeniu przez sosnę około 70 lat, w kolejnych nowo tworzonych słojach rocznych, ulega pogorszeniu jakość techniczna tkanki drzewnej. Wskazuje to na zasadność przeprowadzenia dokładniejszych badań w tym zakresie oraz dyskusję nad określeniem wieku rębności tego gatunku, który będzie uzasadniony również z punktu widzenia optymalizacji wykorzystania surowca drzewnego.

Słowa kluczowe: sosna zwyczajna, właściwości fizyczne drewna, gęstość umowna, adsorpcja wody, procesy starzenia się drzew

WSTĘP

Zachowanie struktury wieku drzewostanów jest konieczne do rozwiązania wielu zadań z zakresu gospodarki leśnej. W badaniach nad przyrostem określa się wpływ wieku drzew na poszczególne parametry decydujące o miąższości drewna, tj. pierśnicę, wysokość czy kształt pnia (Borowski, 1974). Badając przyrost drzew oraz wpływ na niego różnych czynników, można zaobserwować pewne naturalne prawa, które mogą być wykorzystane w praktyce (użytkowanie lasu, hodowla lasu).

Powszechnie wiadomo, iż na ostateczny efekt produkcji surowca drzewnego mają wpływ zmienność genetyczna, warunki rozwoju i wzrostu oraz działalność człowieka (Allona i in., 1998; Fujimoto i in., 2006; Kumar i in., 2006; Persson i in., 1995; Prescher i Stähl, 1986; Zobel, 1971). Mają one kluczowe znaczenie dla procesu tworzenia się tkanki drzewnej, a z punktu widzenia gospodarki leśnej i możliwości wykorzystania surowca drzewnego kształtują jego jakość (Brüchert i in., 2000; Jelonek i in., 2006; 2010; Tomczak i in.,

[✉]katarzyna.klimek@szczecinek.lasy.gov.pl

2010). Wiek drzewa jest uznawany za jeden z czynników natury wewnętrznej, który wpływa na kształt strzały, a więc na przyrost i miąższość drewna (Czuraj, 1963).

Wzrost kambialny roślin drzewiastych jest bardzo złożony, ponieważ składają się na niego liczne reakcje biofizyczne i biochemiczne, które zachodzą na poziomie komórkowym oraz tkankowym. Nie wszystkie interakcje i zależności zostały szczegółowo opisane ze względu na złożoność procesów związanych z tworzeniem się i starzeniem drewna oraz powszechnie występujących naturalnych biomodyfikacji tkanki drzewnej (Savidge i in., 2000). Zmiany związane z fizjologicznym czy biomechanicznym funkcjonowaniem drzewa można przedstawić m.in. w postaci funkcji wieku. Jedną ze składowych owych zmian będzie proces starzenia się drzew, który można opisać między innymi zmniejszeniem wydajności czy obniżeniem jakości produkowanej tkanki drzewnej (Jelonek, 2013; Jelonek i in., 2012). Można więc założyć, że zmiany towarzyszące starzeniu się drzew będą również dostrzegalne w zmianach cech i właściwości tkanki drzewnej. Ustalenie wpływów starzenia się drzew na wymienione właściwości pomogą określić, z dużym prawdopodobieństwem, odpowiedni wiek rębności badanych gatunków drzew, a także wskażą granicę wieku optymalną dla jakości technicznej produkowanego drewna.

W Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe wieki rębności, wyznaczające czas osiągnięcia celu gospodarowania, określa się jako przeciętne wieki rębności głównych gatunków drzew w obrębach leśnych przyjmowane dla: sosny, świerka, jodły, dębu i buka na podstawie wykazu opracowanego przez Instytut Badawczy Leśnictwa, stanowiącego załącznik nr 1 do Zarządzenia nr 36 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 19 maja 2004 r. w sprawie zmian w „Instrukcji urządzania lasu”, natomiast dla pozostałych gatunków są ustalane podczas Komisji Założeń Planu. Na podstawie obecnego stanu badań (Jelonek, 2013; Tomczak i Jelonek, 2013; Witkowska i Lachowicz, 2013) należy stwierdzić z dużym prawdopodobieństwem, że obecnie przyjęty wiek rębności sosny zwyczajnej może podlegać modyfikacji. Biorąc pod uwagę różne aspekty gospodarki leśnej, może on ulec skróceniu lub wydłużeniu w zależności od aktualnych potrzeb ekonomicznych i uwarunkowań społecznych. Wiadomo, że wiek rębności wyznacza czas

osiągnięcia celu gospodarowania przez dany gatunek. Nie można jednak właściwie wyznaczać go bez wcześniejszego zweryfikowania wpływu wieku drzew na cechy ilościowe i jakościowe produkowanej tkanki drzewnej.

Celem pracy jest określenie wpływu procesu starzenia się sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na wybrane właściwości tkanki drzewnej.

MATERIAŁ I METODY

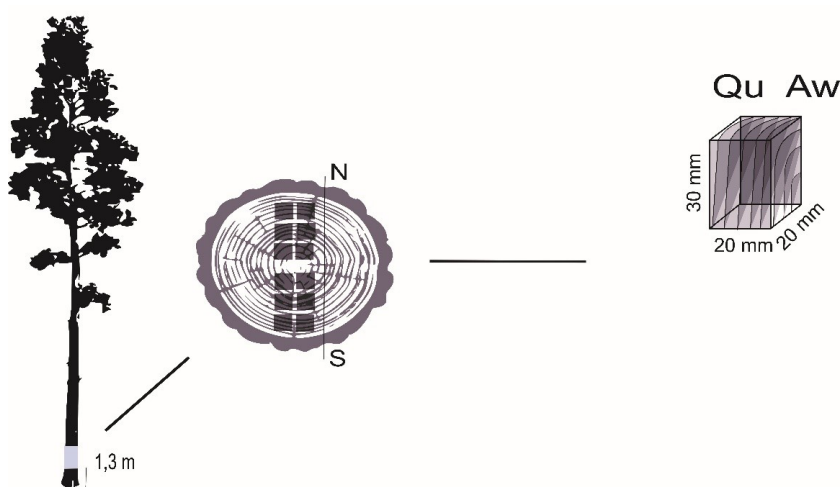
Do badań wpływu procesów starzenia się drzew na fizyczne właściwości tkanki drzewnej wyznaczono trzy przeszłorębne drzewostany sosnowe zlokalizowane na terenie Nadleśnictwa Łopuchówko (obszar Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina), Nadleśnictwa Bolewice i Nadleśnictwa Warcino (tab. 1), z których na podstawie pierśnic oraz wysokości wybrano w każdym drzewostanie po trzy drzewa modelowe.

Wyznaczone drzewa ścięto i pozyskano z nich próbki do badań laboratoryjnych. Próbki do analiz właściwości drewna pobrano w dwóch kierunkach świata (północ – południe) i pochodziły z wyrzynków pobranych na wysokości od 1,3 m do 1,8 m. Z pobranego materiału przygotowano wyrzynki, które były przechowywane przez okres 2 miesięcy. Następnie za pomocą maszyn stolarskich z wyrzynków wycięto próbki o wymiarach 20 × 20 × 30 mm, które posłużyły do badań właściwości fizycznych drewna (rys. 1). Próbki ponumerowano oraz określono przedział wieku drzewa, z których zostały pobrane, aby była możliwa identyfikacja właściwości tkanki drzewnej i przypisania jej do wieku drzewa.

Przygotowane w ten sposób próbki umieszczono w suszarce w stałej temperaturze 102°C. Próbki ważono co 8 godzin, a proces suszenia prowadzono do momentu, w którym różnica w masie pomiędzy kolejnymi dwoma pomiarami wynosiła mniej niż 2%. Po upływie czasu suszenia każda z próbek została ostatecznie zważona z dokładnością do 0,01 g oraz zmierzona suwmiarką elektroniczną z dokładnością do 0,01 cm. Po ustaleniu wymiarów próbek absolutnie suchych umieszczono je w wodzie destylowanej w naczyniach, tak aby były zupełnie zanurzone i pozostawiono na 72 godziny. Po upływie tego czasu próbki zostały ponownie zmierzone i zważone.

Tabela 1. Charakterystyka drzewostanów i wybranych drzew modelowych
Table 1. Characteristics of tree stands and selected model trees

Lp.	Lokalizacja Location	Skład Composition	Siedliskowy typ lasu Forest site type	Bonitacja Soil productivity class	Wiek lata Age years	Pierśnica DBH cm	Wysokość Height m
1	Bolewice oddz. 250 c	IP-10 So IIP-10 Db	LŚW	I	160	43,5	27,1
2						55,5	27,3
3						65,5	26,3
4	Murowana Goślina oddz. 65 d	IP-6 So, 4 Db IIP-10 Gb	LMŚW	II	165	42,0	27,6
5						53,0	28,5
6						65,5	30,9
7	Warcino oddz. 68 i	IP-10 So	BMŚW	III	156	41,0	26,5
8						48,0	27,9
9						56,0	28,6



Rys. 1. Schemat pobierania materiału do badań właściwości fizycznych drewna
Fig. 1. A sampling scheme for materials for tests of physical properties of wood

Uzyskane dane posłużyły do określenia gęstości umownej drewna oraz adsorpcji wody w tkance drzewnej.

Uzyskane dane empiryczne analizowano metodami statystycznymi za pomocą programu Statistica 13PL.

Oznaczenie gęstości umownej

Gęstość umowna jest stosunkiem masy drewna zupełnie suchego do jego objętości w stanie maksymalnego spęcznienia. Od gęstości zależą fizyczne, mechaniczne oraz technologiczne właściwości drewna. Wartość gęstości umownej wyrażamy w kg/m^3 lub g/cm^3 .

Pomiary zostały wykonane za pomocą metody stereometrycznej zgodnie z normą PN-77/D-04101. Gęstość umowną określono wzorem:

$$Q_u = m_0 / V_{\max}, \text{ kg/m}^3$$

gdzie:

- Q_u – gęstość umowna,
- m_0 – masa próbki w stanie całkowicie suchym w przeliczeniu na kg,
- V_{\max} – objętość próbki w stanie maksymalnego spęcznienia w przeliczeniu na m^3 .

Oznaczenie adsorpcji wody

Adsorpcja wody została obliczona na podstawie różnicy masy próbek maksymalnie nasyconych i absolutnie suchych w przeliczeniu na kg/m^3 .

$$A_w = m_{30\%} - m_{0\%}, \text{ kg/m}^3$$

gdzie:

- A_w – zawartość wody, kg/m^3 ,
- $m_{30\%}$ – masa próbki maksymalnie spęczniałej w przeliczeniu na kg/m^3 ,
- $m_{0\%}$ – masa próbki zupełnie suchej w przeliczeniu na kg/m^3 .

WYNIKI

Opisywane w pracy właściwości fizyczne drewna analizowano w trzech przedziałach wieku drzew, tj. 1–50 lat, 50–100 lat oraz 100–150 lat. W pierwszej kolejności poddano analizie gęstość umowną drewna, której średnia wartość wyniosła 473 g/cm^3 , a współczynnik zmienności dla tej właściwości wyniósł 13,3%. Największą gęstość umowną stwierdzono u sosen na powierzchni zlokalizowanej w LZD Murowana Goślina (481 kg/m^3), najmniejszą zaś (463 kg/m^3) w drzewostanie zlokalizowanym na terenie Nadleśnictwa Warcino.

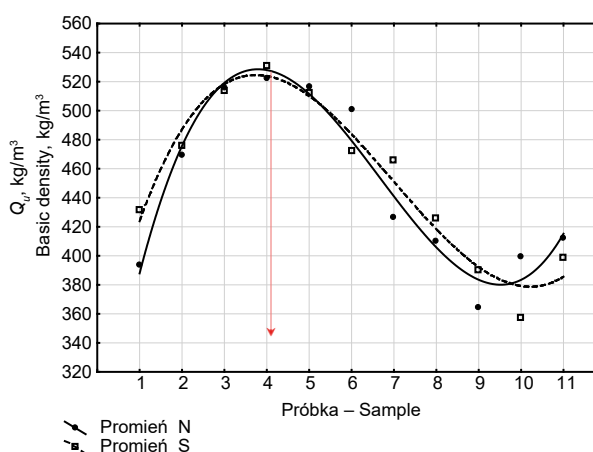
Analiza rozkładu gęstości w poszczególnych przedziałach wieku wyniosła odpowiednio 459 kg/m^3 w tkance drzewnej tworzonej w okresie 1–50 lat, 529 kg/m^3 w drewnie pochodzącym z zakresu 50–100 lat oraz 440 kg/m^3 w najstarszym przedziale wieku, tj. 100–150 lat. Największą zmienność omawianej cechy stwierdzono w tkance drzewnej tworzonej w młodości, tj. w okresie 1–50 lat, gdzie odchylenie standardowe tej cechy wyniosło aż $63,8 \text{ kg/m}^3$ (tab. 2, rys. 3).

Tabela 2. Charakterystyka średniej gęstości umownej (Q_u) w stosunku do przedziałów wiekowych

Table 2. Characteristics of mean basic density (Q_u) in relation to age classes

Przedziały wiekowe, lata Age classes, years	Średnia, kg/m^3 Mean, kg/m^3	SD kg/m^3	VC %
1–50	458,93	63,82	13,9
50–100	528,84	62,33	11,8
100–150	440,48	50,72	11,5
Średnio – Mean	472,47	69,14	13,9

Współczynnik zmienności gęstości w poszczególnych przedziałach wiekowych wynosił najwięcej, bo 13,9% w pierwszym przedziale wieku oraz w dwóch kolejnych odpowiednio 11,8% oraz 11,5% (tab. 2). W dalszej kolejności przeprowadzono szczegółową analizę rozkładu średnich wartości gęstości drewna w układzie promieniowym N–S pnia na wysokości 1,3 m (rys. 2). Z rozkładów poszczególnych promieni wynika, że wartości gęstości badanych drzew charakteryzują się podobnym rozkładem na obu promieniach. W rozkładzie promieniowym gęstość drewna początkowo dość gwałtownie rośnie do próbki nr 4, tj. około 60–70 roku życia, gdzie osiąga maksimum, a następnie maleje. Natomiast w części przyobwodowej, po



Rys. 2. Promieniowy rozkład gęstości drewna drzew modelowych

Fig. 2. Radial distribution of wood density in model trees

Tabela 3. Test RIR Tukeya gęstości umownej drewna sosny zwyczajnej dla przedziałów wiekowych

Table 3. Tukey's test for basic density of Scots pine wood for age classes

Przedział wieku Age classes	1–50	50–100	100–150
1–50		0,000023	0,33982
50–100	0,000023		0,000022
100–150	0,33982	0,000022	

Zaznaczone różnice są istotne dla $p < 0,05$.

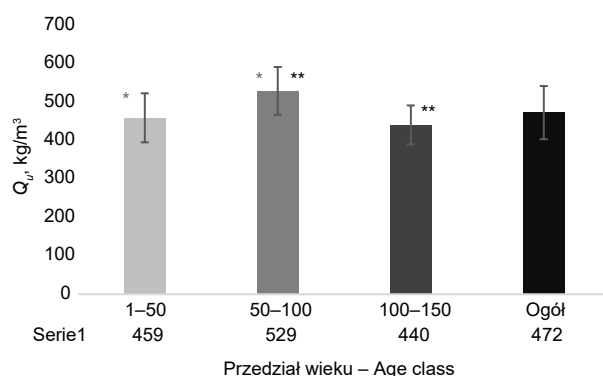
Średnia adsorpcja wody dla badanych drzew wynosiła 294 kg/m^3 , a średni współczynnik zmienności tej cechy wyniósł 28,3%. The marked differences are significant at $p < 0.05$.

The average water adsorption for the studied trees was 294 kg/m^3 , and the average coefficient of variation of this feature was 28.3%.

przekroczeniu wieku około 130 lat, gęstość wykazuje ponownie tendencję rosnącą (próbka nr 10–11; rys. 2).

Analiza uzyskanych wyników wykazała statystycznie istotne różnice średnich gęstościach umownych drewna sosny zwyczajnej między porównywanymi przedziałami wieku, tj. 1–50 a 50–100; 50–100 a 100–150 (tab. 3). Nie stwierdzono istotnej różnicy jedynie między przedziałem pierwszym (1–50 lat) a ostatnim (100–150 lat). Średnia wartość gęstości umownej była statystycznie istotnie najwyższa w przedziale wiekowym 50–100 lat (rys. 3).

Największą adsorpcję wody (A_w) stwierdzono w przedziale wiekowym 100–150 lat i wyniosła



Rys. 3. Charakterystyka statystyczna gęstości umownej w stosunku do przedziałów wiekowych

Fig. 3. Statistical characteristics of contractual density in relation to age classes

Tabela 4. Charakterystyka adsorpcji wody (A_w) w stosunku do przedziałów wiekowych

Table 4. Characteristics of water adsorption (A_w) in relation to age classes

Przedziały wiekowe lata Age class, years	Średnia, kg/m ³ Mean, kg/m ³	SD, kg/m ³	VC, %
1–50	257	62	24,0
50–100	264	41	15,5
100–150	370	61	16,4
Średnio – Mean	294	83	28,3

średnio 370 kg/m^3 , natomiast najmniejszą adsorpcję stwierdzono w przedziale wiekowym 1–50 lat, gdzie wyniosła średnio 257 kg/m^3 . Największą zmienność adsorpcji wody stwierdzono w pierwszym przedziale, gdzie współczynnik zmienności tej cechy wyniósł aż 24%, najmniejszą zaś w przedziale drugim (50–100 lat), gdzie zmienność cechy wyniosła jedynie 15,5% (tab. 4).

Uzyskane wyniki wykazały statystycznie istotne różnice adsorpcji wody między przedziałami wiekowymi 50–100 lat a 100–150 lat oraz 1–50 lat a 100–150 lat (tab. 5, rys. 4). Adsorpcja wody (A_w) przez tkankę drzewną nie była statystycznie istotnie różna między przedziałami wieku 1–50 a 50–100 lat, jednak wyraźnie wzrastała wraz z kolejnymi przedziałami wieku, osiągając maksimum w ostatnim przedziale, tj. 100–150 lat.

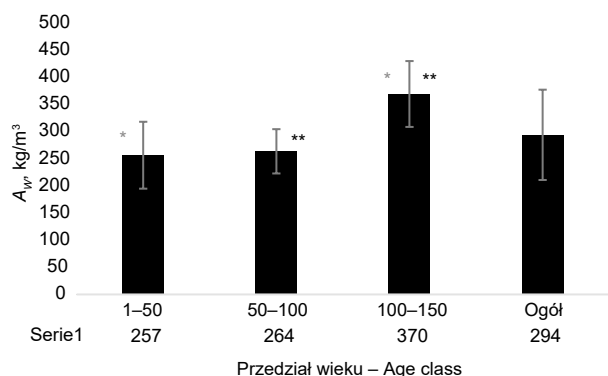
Tabela 5. Test RIR Tukeya adsorpcji wody (A_w) drewna sosny zwyczajnej dla przedziałów wiekowych

Table 5. Tukey's HSD test for water adsorption (A_w) of Scots pine wood for age classes

Przedział wieku Age class	1–50	50–100	100–150
1–50		0,792618	0,000022
50–100	0,792618		0,000022
100–150	0,000022	0,000022	

Zaznaczone różnice są istotne dla $p < 0,05$.

The marked differences are significant at $p < 0.05$.



Rys. 4. Charakterystyka statystyczna adsorpcji wody (A_w) w stosunku do przedziałów wiekowych

Fig. 4. Statistical characteristics of water adsorption (A_w) in relation to age classes

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Proces starzenia się jest sterowany wewnątrznie i dotyczy zarówno pojedynczych osobników, jak i całych populacji, co w konsekwencji może prowadzić do różnych efektów i mieć szeroki wyraz (Brutovská i in., 2013). Zmniejszenie zdolności w odpowiedzi na stres środowiskowy, który pojawia się w organizmach wraz z upływem wieku jest naturalnym w przyrodzie procesem starzenia się i podlegają mu wszystkie organizmy żywe, również rośliny drzewiaste (Jelonek i in., 2016). Wyrazem starzenia się drzew może być nie tylko osłabienie witalności, ale również pogorszenie się właściwości tkanki drzewnej.

Pomimo że właściwości drewna sosny wykazują zróżnicowane wartości na przekroju osiowym i promieniowym (Pearson i Gilmore, 1980), wciąż panuje pogląd, że następuje ciągły wzrost właściwości w kierunku promieniowym, tj. od rdzenia do obwodu pnia (Machado i Cruz, 2005). Jest to związane z układem ilościowym w słoju rocznym drewna późnego w stosunku do drewna wczesnego. Drewno wąskosłoiste gatunków iglastych charakteryzuje się zazwyczaj dużym udziałem drewna późnego, a więc również jego wysoką jakością techniczną. Natomiast wzrost szerokości słoików rocznych zwykle wywołuje efekt zmniejszenia gęstości drewna, co z reguły wpływa na obniżenie się jego jakości (Aleinikovas, 2007). Jak podano w literaturze, sygnałem sterującym formowaniem się strefy drewna późnego jest różnica w promieniowym

(Uglla i in., 1996; 1998; 2001) i osiowym (Sundberg i in., 1990) gradiencie IAA (auksyn).

Bez względu na pochodzenie sygnału sterującego różnicowaniem tkanki drzewnej, głównym wykładnikiem jej jakości jest gęstość drewna. Średnia wartość gęstości umownej drewna (472 kg/m^3), którą uzyskano w doświadczeniu to wartość zbliżona do podawanej w literaturze. Podobne wartości (470 kg/m^3) uzyskała Witkowska (1997), która badała gęstość populacji sosny w różnych rejonach w Polsce (Bory Tucholskie, Lasy Zielonogórskie i Iławskie, Puszcza Knyszyńska). Jednak na uwagę zasługuje zmienność tej cechy w rozkładzie promieniowym u starych drzew, które przekroczyły okres kompensacji przyrostu. Przeprowadzona analiza zmienności gęstości umownej (Q_u) wykazała po pierwsze istotny wpływ wieku na zmienność tej ważnej właściwości drewna, po drugie nie potwierdziła ogólnie panującego poglądu mówiącego o stopniowym wzroście właściwości drewna sosny w układzie promieniowym pnia. Jak wynika z przeprowadzonych badań, jakość tkanki drzewnej opisana jej gęstością początkowo wzrasta do około 70 roku życia, po czym gwałtownie maleje i znowu nieznacznie wzrasta po przekroczeniu około 120–130 lat.

Pod względem chemicznym drewno jest konglomeratem kilku wielkocząsteczkowych związków organicznych, wśród których pierwsze miejsce zajmują polisacharydy (celuloza i hemicelulozy). Ich udział (głównie celulozy) w ścianach komórkowych decyduje w dużej mierze o właściwościach tkanki drzewnej i może podlegać pewnym zmianom (Pereira i in., 2003). Dlatego też w pracy określono adsorpcję wodną drewna w przedziale higroskopijnym. Również w tym przypadku zauważono anomalie wynikające z adsorpcji wody w poszczególnych przedziałach wieku. Powszechnie wiadomo, że pochłanianie wody przez tkankę drzewną w przedziale higroskopijnym jest uzależnione od jego budowy submikroskopowej i ma związek z budową ścian komórkowych i zawartością w nich celulozy w formie amorficznej (Jelonek, 2013). Można więc założyć, że w tym przypadku większe pochłanianie wody przez jednostkę objętości drewna w strefie oddalonej od rdzenia nie jest związane z dużym udziałem drewna wczesnego w słoju rocznym, ale ze zwiększonym udziałem w ścianach cewek celulozy w formie amorficznej, która cechuje się większym powinowactwem do wody w stosunku

do formy krystalicznej celulozy. Ponieważ celuloza, szczególnie w formie krystalicznej, wpływa istotnie na jakość mechaniczną drewna, można założyć, że w strefie trzeciej (100–150 lat), w której występuje wzrost formy amorficznej celulozy ulegają zmianom również właściwości drewna.

Zakładając, że istnieje związek między gęstością drewna, jego budową makroskopową, mikroskopową i submikroskopową a właściwościami mechanicznymi tkanki drzewnej (Saranpää, 2003; Zhang, 1997), można założyć, iż po przekroczeniu przez sosnę około 70 lat ulega obniżeniu jakość techniczna tkanki drzewnej w kolejnych nowo tworzonych słojach rocznych. Wskazuje to na konieczność dyskusji nad opracowaniem nowych zasad, bazujących na przesłankach naukowych, służących określeniu wieku dojrzałości technicznej tkanki drzewnej, co istotnie wypłyne na optymalizację jej wykorzystania.

PIŚMIENNICTWO

- Aleinikovas, M. (2007). Effect of the mean diameter increment on the pine wood mechanical-physical properties in Lithuania. *Baltic For.*, 13(1), 103–108.
- Allona, I., Quinn, M., Shoop, E., Swope, K., Cyr, S., Carlis, J., ..., Whetten, W. R. (1998). Analysis of xylem formation in pine by cDNA sequencing. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95(16), 9693–9698.
- Borowski, M. (1974). *Przyrost drzew i drzewostanów* [Growth of trees and stands]. Warszawa: PWRiL [in Polish].
- Brüchert, F., Becker, G., Speck, T. (2000). The mechanics of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.): mechanical properties of standing trees from different thinning regimes. *For. Ecol. Manag.*, 135, 45–62.
- Brutovská, E., Sámelová, A., Dušička, J., Mičieta, K. (2013). Ageing of trees: application of general ageing theories. *Ageing Res. Rev.*, 12(4), 855–866.
- Czuraj, M. (1963). *Pomiar drzew i drzewostanów dla techników leśnych* [Measurement of trees and stands for forest technicians]. Warszawa: PWRiL [in Polish].
- Fujimoto, T., Akutsu, H., Nei, M., Kita, K., Kuromaru, M., Oda, K. (2006). Genetic variation in wood stiffness and strength properties of hybrid larch (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*). *J. For. Res.*, 11, 343–349.
- 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 [Biomechanical stability of trees and selected physical, mechanical and structural properties of xylem from Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) grown on former farmland and forest soils]. Poznań: Wyd. UPP [in Polish].
- Jelonek, T., Pazdrowski, W., Arasimowicz-Jelonek, M., Tomczak, A. (2010). Właściwości drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) pochodzącej z gruntów porolnych [Properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood from former farmland]. *Sylwan*, 154(5), 299–311 [in Polish].
- Jelonek, T., Pazdrowski, W., Tomczak, A., Stypuła, I. (2006). Analysis of the quality of pine sawmill wood set against tree biosocial classes in the tree stand. *Ann. Warsaw Agric. Univ. SGGW For. Wood Technol.*, 58, 372–378.
- Jelonek, T., Pazdrowski, W., Walkowiak, R., Tomczak, A. (2012). Model biomasy igliwia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej w warunkach gruntów porolnych i leśnych [Biomass model of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles grown in former farmland and forest soils]. *Leśn. Pr. Bad.*, 73(2), 97–106 [in Polish].
- Jelonek, T., Tomczak, A., Jakubowski, M., Szaban, J., Jurkiewicz, E., Remlein, A. (2016). Changeability of tree tissue properties of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a marker of trees' ageing. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW, For. Wood Technol.*, 95, 29–35.
- Kumar, S., Dungey, H. S., Matheson, A. C. (2006). Genetic parameters and strategies for genetic improvement of stiffness in radiata pine. *Silv. Genet.*, 55(2), 77–84.
- Machado, J., Cruz, H. (2005). Within stem variation of maritime pine timber mechanical. *Holz Roh. Werkstoff.*, 63, 154–159.
- Pearson, R. G., Gilmore, R. C. (1980). Effect of fast growth on the mechanical properties of loblolly pine. *For. Prod. J.*, 30(5), 47–54.
- Pereira, H., Graça, J., Rodrigues, J. (2003). Wood chemistry in relation to quality. W: J. R. Barnett, G. Jeronimidis (red.), *Wood quality and its biological basis* (s. 53–86). Oxford: Blackwell.
- Persson, B., Persson, A., Stahl, E. G., Karlmat, U. (1995). Wood quality of *Pinus sylvestris* progenies at various spacings. *For. Ecol. Manag.*, 76, 127–138.
- Savidge, R. A., Barnett, J. R., Napier, R. (red., 2000). *Cell and molecular biology of wood formation*. Oxford, UK: BIOS Scientific.
- Prescher, F., Ståhl, E. G. (1986). The effect of provenance and spacing on stem straightness and number of spike knots of Scots pine in South and Central Sweden. *Stud. For. Suec.*, 172, 12.

- Saranpää, P. (2003). Wood density and growth. W: J. R. Barnett, G. Jeronimidis (red.), Wood quality and its biological basis (s. 87–113). Blackwell Publishing.
- Sundberg, B., Little, C. H. A., Cui, K. (1990). Distribution of indole-3-acetic acid and the occurrence of its alkalilabile conjugates in the extraxylary region of *Pinus sylvestris* stems. Plant Physiol., 93, 1295–1302.
- Tomczak, A., Jelonek, T. (2013). Promieniowa zmienność właściwości drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wyrosłej na gruntach porolnych [Radial variation in properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood grown on former farmland]. Leśn. Pr. Bad., 74(2), 171–177 [in Polish].
- Tomczak, A., Jelonek, T., Zoń, L. (2010). Porównanie wybranych właściwości fizycznych drewna młodocianego i dojrzałego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z drzewostanów rębnych [Comparison of selected physical properties of juvenile and mature pine (*Pinus sylvestris* L.) wood from mature tree stands]. Sylwan, 154(12), 809–817 [in Polish].
- Uggla, C., Magel, E., Moritz, T., Sundberg, B. (2001). Function and dynamics of auxin and carbohydrates during earlywood/latewood transition in Scots pine. Plant Physiol., 125(4), 2029–2039.
- Uggla, C., Mellerowicz, E. J., Sundberg, B. (1998). Indole-3-acetic acid controls cambial growth in Scots pine by positional signaling. Plant Physiol., 117, 113–121.
- Uggla, C., Moritz, T., Sandberg, G., Sundberg, B. (1996). Auxin as a positional signal in pattern formation in plants. Plant Biol., 93(17), 9282–9286.
- Witkowska, J. (1997). Regionalna zmienność gęstości sosny zwyczajnej [Regional variation in the density of Scots pine]. W: 11. Konferencja Naukowa Wydziału Technologii Drewna SGGW. Warszawa. Warszawa: Fund. Rozwój SGGW [in Polish].
- Witkowska, J., Jachowicz, H. (2013). Zmienność gęstości umownej drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) wzdłuż wysokości pnia w zależności od wybranych czynników [Variability of basic density of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood along the height of the stem depending on selected factors]. Sylwan, 157(5), 336–347 [in Polish].
- Witkowska, J. (1999). Gęstość drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w zależności od wieku drzew [Density of Scots pine wood (*Pinus sylvestris* L.) depending on the age of trees]. W: XIII Konferencja Naukowa WTD SGGW. 16–18 listopada 1999, Warszawa (s. 51–57) [in Polish].
- Zhang, S. Y. (1997). Wood specific gravity-mechanical property relationship at species level. Wood Sci. Technol., 31, 181–191.
- Zobel, B. (1971). Genetic manipulation of wood of the southern pines including chemical characteristics. Wood Sci. Technol., 5(4), 255–271.

THE EFFECT OF TREE AGEING PROCESSES ON SELECTED PHYSICAL PROPERTIES OF XYLEM IN SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

ABSTRACT

The paper characterized selected physical properties of wood from Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) which grew in an overmature stand. The aim of the study was to analyse the influence of ageing on selected physical properties of wood. The empirical material was collected in three overmature pine stands located in the Łopuchówko Forest District (the Murowana Goślina Experimental Forest Institute), the Bolewice Forest District and the Warcino Forest District. The choice of the research area was determined by the age of all forest stands, in which Scots pine trees over 150 years old dominated. In each forest stand three model trees were selected, which were harvested and samples for analyses of wood properties (i.e. density and water adsorption) were collected. The conducted analyses showed the influence of tree ageing processes on variability in the characterised physical properties of wood. The obtained results indicated a downward trend for wood density and an upward trend for water adsorption by the cell walls, once the tree has turned 70.

Keywords: Scots pine, physical wood properties, wood density, water adsorption, tree ageing processes