

JOANNA WITKOWSKA, HUBERT LACHOWICZ

Zmienność gęstości umownej drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w zależności od wybranych czynników

Variability of conventional wood density of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) depending on the selected factors

ABSTRACT

Witkowska J., Lachowicz H. 2013. Zmienność gęstości umownej drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w zależności od wybranych czynników. Sylwan 157 (5): 336-347.

Paper presents analysis of differences in conventional wood density of Scots pine measured at breast height regarding the geographical location of stands, forest habitat type, stand age and associated parameters such as density in the mid-length of the stem, density in the upper end of the stem and diameter at breast height. To investigate the impact of these factors, an analysis of covariance was used in accordance with two models specifically developed for this purpose.

We found dependence of conventional wood density on the type of forest habitat and geographical location of the stand. The highest density was detected in dry coniferous forests, while the smallest in fresh mixed coniferous forests. Scots pine wood from Zielona Góra Forest (western Poland) characterised with the highest density, while from the Knyszyn Primeval Forest (eastern Poland) - with the lowest.

KEY WORDS

Scots pine, conventional wood density, forest habitat type, Poland

ADDRESSES

Joanna Witkowska ⁽¹⁾ – e-mail: J.Witkowska@ibles.waw.pl
Hubert Lachowicz ⁽²⁾ – e-mail: Hubert.Lachowicz@wl.sggw.pl

⁽¹⁾ Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi; Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, Braci Leśnej 3; 05-090 Raszyn

⁽²⁾ Katedra Użytkowania Lasu; SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa

Wstęp

Gęstość jest jedną z najważniejszych właściwości fizycznych drewna. Jest silnie skorelowana z właściwościami mechanicznymi oraz ma istotny wpływ na wydajność surowca wykorzystywanego w przerobie chemicznym i fizyko-chemicznym. Gęstość umowna wskazuje, ile suchej masy drewna znajduje się w jednostce objętości drewna świeżo ściętego. W przypadku chemicznego przerobu drewna, gdzie o wydajności materiałowej decyduje nie objętość, ale zawartość substancji drzewnej w jednostce objętości, ma ona znaczenie pierwszoplanowe.

Największy wpływ na gęstość ma gatunek drewna i związana z tym jego budowa anatomiczna oraz wilgotność [Giefing, Jabłoński 1989]. Gęstość drewna zmienia się także z wiekiem drzewa [Pazdrowski, Splawa-Neyman 1996]. U sosny zwyczajnej gęstość drewna na przekroju poprzecznym pnia wzrasta od rdzenia do obwodu, a na przekroju podłużnym obniża się od podstawy do wierzchołka drzewa. Jest to spowodowane obecnością w centralnej części pnia na całej jego długości drewna młodocianego, charakteryzującego się gęstością niższą od drewna dojrzalego. Jest to także związane z naturalną u gatunków iglastych zmiennością szerokości słoja

rocznego i udziałem drewna późnego. W pobliżu rdzenia słoje roczne są szersze niż przy obwodzie (mają też mniej drewna późnego w stosunku do szerokości słoja). U podstawy pnia średnia szerokość słoja jest duża, następnie zmniejsza się, osiągając wartość minimalną w $1/4-1/3$ wysokości drzewa, by ponownie zwiększyć się i osiągnąć najwyższą wartość w obrębie korony [Borowski, Dziekoński 1974]. Szerokość słoików rocznych, przy której drewno sosny wykazuje najwyższą gęstość, wynosi 0,5-2,0 mm [Krzysik 1974].

Czynniki zewnętrzne mające wpływ na gęstość drewna są związane z położeniem geograficznym, klimatem, typem siedliskowym lasu, pochodzeniem materiału sadzeniowego, wpływem postępowania gospodarczego w drzewostanie (więźba sadzenia, cięcia pielęgnacyjne, podkrzesywanie) czy wpływem emisji przemysłowych. Ustalenie wpływu danego czynnika na gęstość drewna może być niezwykle trudne do zweryfikowania, ponieważ drewno tego samego gatunku może mieć odmienne cechy tkanki drzewnej tworzącej się na innym obszarze czy siedlisku [Tomczak i in. 2009]. Trendelenburg i Mayer-Wegelin [1955] zauważyli, że gęstość drewna sosnowego zależy od położenia geograficznego. Wyróżnili w Europie cztery duże, bardzo nieprecyzyjnie opisane regiony. Na podstawie ich pracy trudno stwierdzić, jaką gęstością charakteryzuje się drewno sosny z terenu naszego kraju.

W Polsce szerzej zainteresowano się gęstością drewna na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Kobyliński [1967] badał gęstość drewna sosnowego z drzewostanów nasienych w czterech krainach przyrodniczo-leśnych. Laurow [1973, 1975] poświęcił się badaniom kształtowania się gęstości całkowicie suchego drewna sosny w zależności od różnych siedlisk na terenie Puszczy Piskiej. Jednym z istotniejszych wyników badań Paschalisa [1980], dotyczących tylko wschodniej części Polski, było określenie wartości i zmienności gęstości drewna sosnowego w zależności od położenia geograficznego. Gęstość drewna omawianego gatunku obniża się z północy na południe oraz ze wschodu na zachód, a zjawisko to było znacznie bardziej wyraźne w bieli niż w twardej na przekroju poprzecznym pnia. Wpływ siedliska i wieku na gęstość drewna sosny był przedmiotem badań Splawy-Neymana [1994], a zależności między gęstością drewna a strefą zagrożenia przemysłowego analizowali Splawa-Neyman i Wojciechowski [1991]. Niedzielska [1990] określiła stopień reakcji drewna sosny zwyczajnej na skażenie środowiska w trzech regionach Polski o zróżnicowanej skali oddziaływania emisji przemysłowych. W drzewostanach narażonych w większym stopniu na działanie emisji stwierdzono zmniejszenie szerokości przyrostów rocznych i obniżenie gęstości drewna o około 10%. Podobne konkluzje wynikają z prac Paschalisa i Staniszewskiego [1992, 1994a, b] oraz Oktaby i in. [2002]. Z kolei Niedzielska i Muszyński [1986] stwierdzili znaczne różnice w gęstości drewna między niektórymi proveniencjami sosny. Wpływem podkrzesania sosny zwyczajnej na zmiany gęstości umownej zajmował się Pazdrowski [1981]. Opisany zabieg spowodował istotne obniżenie gęstości umownej drewna u drzew podkrzesanych w stosunku do drzew kontrolnych. Jednocześnie gęstość umowna drewna sosen podkrzesanych wykazywała mniejszą zmienność w porównaniu z drewnem drzew kontrolnych. Współczynniki zmienności obniżały się w miarę zwiększania intensywności podkrzesywania. Współzależnością między średnią gęstością umowną drewna kłód odziomkowych sosny zwyczajnej a gęstością określoną na różnych wysokościach pnia zajmował się Pazdrowski [1992]. Badania prowadzono na BMśw w drzewostanie w wieku 115 lat. Stwierdzono systematyczny spadek wartości gęstości umownej drewna od poziomu 0,0 m do 5,5 m średnio o około 10%. Na podstawie prezentowanej powyżej literatury trudno określić zmienność, jaką charakteryzuje się gęstość umowna sosny w Polsce. Częstym mankamentem prowadzonych badań jest pobieranie próbek tylko z jednej wysokości drzewa, najczęściej pierśnicy, gdy w opisie zaś otrzymaną wielkością charakteryzuje się całe drzewo. Najwięcej wątpliwości budzą jednak

wyniki oparte na zbyt małym materiale badawczym, bardzo przypadkowo dobieranym, niewiadomego pochodzenia, z drzewostanów o nieokreślonym wieku i typie siedliskowym lasu.

Celem niniejszych badań było określenie zmienności gęstości umownej drewna sosny zwyczajnej i ustalenie jej zależności od położenia geograficznego drzewostanu, typu siedliskowego lasu, wieku drzewostanu oraz gęstości w połowie długości grubizny, gęstości w górnym końcu grubizny i pierśnicy.

Materiały i metody

Powierzchnie badawcze wyznaczono na terenie czterech regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych, cechujących się największym pozyskaniem średniowymiarowego drewna sosnowego. Są to położone w północnej części kraju RDLP w Białymstoku (Puszcza Knyszyńska), Olsztynie (Lasy Iławskie), Toruniu (Bory Tucholskie) oraz na zachodzie – RDLP w Zielonej Górze (Lasy Zielonogórskie). Stanowiska zlokalizowano na najbardziej typowych dla sosny siedliskowych typach lasu, tj. borze świeżym i borze mieszanym świeżym oraz w mniejszym zakresie, dla porównania wyników, na borze suchym i lesie mieszanym świeżym. Badaniami objęto cztery klasy wieku od II do V. Aby wiek wybranych drzewostanów najlepiej charakteryzował poszczególne klasy, przyjęto, że nie będzie on odbiegał o więcej niż ± 3 lata od jej środka.

Każdy z czterech wybranych regionów kraju reprezentowany był przez 10 drzewostanów. Na borze świeżym i borze mieszanym świeżym założono po jednej powierzchni badawczej w każdej klasie wieku, a na borze suchym i lesie mieszanym świeżym tylko w III klasie wieku. Szczegółowy opis taksacyjny wybranych drzewostanów jest dostępny u autorów pracy. Liczbę drzew pobieranych do badań na poszczególnych powierzchniach wyznaczono zgodnie z normą PN-77/D-04227 [1977]. Ustalono, że przy poziomie istotności $\alpha=0,05$ wystarczy pobranie próbek z dziesięciu drzew. Łącznie pozyskano 400 drzew próbnych. Po ich ścięciu zmierzono z dokładnością do 10 cm ich długość, a następnie zaznaczono na strzałach trzy miejsca pobrania próbek oraz zmierzono ich odległość od odziomka. Próbkę wycinano prostopadłe do osi strzały poza okółkami, by nie zawierały żadnych sęków. Wybierano miejsca z drewnem zdrowym i pozbawionym widocznych wad, takich jak pęknięcia, przeżywienie, drewno reakcyjne (twardzica) czy zabarwienia.

Po osiągnięciu wilgotności równej punktowi nasycenia włókien drewno już nie powiększa swojej objętości, zwiększa się jedynie jego masa. Dotychczas gęstość umowną drewna badano na próbkach w formie sześciątów lub wywierców pozyskanych przy pomocy świdrow i określano ją na jednym/dwóch kierunkach [Niedzielska 1988, 1991; Pazdrowski 1992] lub np. na ośmiu kierunkach stron świata [Pazdrowski 1981]. Szerokość słoja rocznego nie jest jednakowa na całym obwodzie pnia. Dla sosny z terenu środkowej Polski zbliżony do przeciętnego jest przyrost z kierunku północnego [Borowski 1974; Smykała 1959]. Aby wyeliminować wpływ tego czynnika, przyjęto, że materiał badawczy będą stanowiły próbki w kształcie krążków. Po wycięciu, okorowaniu i zgrubnym oszlifowaniu powierzchni poprzecznych miały one grubość 3-4 cm i były podstawą do określenia gęstości umownej drewna na całym przekroju poprzecznym pnia.

Według niektórych badaczy [Krempł 1977; Lewark 1987] właściwości techniczne drewna, a więc i gęstość na wysokości 1,3 m, są przeciętne dla całego pnia. Wolski [1969] stwierdził dość niską korelację pierśnicy z gęstością ($r=0,364$), a Kobylński [1967] za właściwą wysokość przeciętnej gęstości uznawał $\frac{1}{3}$ wysokości strzały licząc od odziomka. Uznano zatem, że pobieranie próbek do określania gęstości drewna z jednej wysokości strzały nie może służyć określeniu gęstości całego drzewa. Dlatego próbki pobrano z trzech poziomów:

- z wysokości pierśnicy (poziom I),
- w połowie długości grubizny (poziom II),
- w górnym końcu grubizny (poziom III).

W laboratorium próbki ksyłometrowano w celu oznaczenia objętości (V_{max}), a następnie sezono- wano do czasu osiągnięcia wilgotności 14-15%, po czym suszono w suszarce i określono masę (m_0). Dysponując tymi danymi dla każdej próbki, obliczono gęstość umowną drewna, czyli stosunek masy drewna zupełnie suchego (o wilgotności 0%) do jego objętości w stanie maksymalnego spęcznienia (o wilgotności równej lub wyższej od punktu nasycenia włókien – $W_{pms} \approx 30\%$). W sumie gęstość umowną określono dla 1200 próbek. Obliczono także przeciętną szerokość słoja przyrostu rocznego jako iloraz średniej arytmetycznej (z dwóch pomiarów) średnicy krążka i liczby słoii. Dla każdej powierzchni badawczej obliczono współczynnik zmienności gęstości umownej oraz współczynnik korelacji gęstości umownej drewna na wysokości pierśnicy z gęstością umowną w połowie długości grubizny, gęstością umowną w górnym końcu grubizny, pierśnicą drzewa i przeciętną szerokością słoja przyrostu rocznego na wysokości pierśnicy.

Gęstość umowna drewna na wysokości pierśnicy podlega wpływowi określonych czynników (region, typ siedliskowy lasu, wiek drzewostanu) i cech towarzyszących (gęstość w połowie długości grubizny, gęstość w górnym końcu grubizny, pierśnica). Do oszacowania tego wpływu zastosowano metodę analizy kowariancji [Elandt 1964; Grabiński i in. 1982]. Model 1 uwzględnił dane tylko z siedlisk boru świeżego i boru mieszanego świeżego i przyjął postać:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\gamma)_{ik} + \beta_1 \cdot (x_{ijkl}^{(1)} - \bar{x}^{(1)}) + \beta_2 \cdot (x_{ijkl}^{(2)} - \bar{x}^{(2)}) + \beta_3 \cdot (x_{ijkl}^{(3)} - \bar{x}^{(3)}) + \varepsilon_{ijkl}$$

Z kolei w modelu 2, uwzględniającym wszystkie objęte badaniami siedliska, interakcja $\beta\gamma$ nie jest zawarta:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + \beta_1 \cdot (x_{ijkl}^{(1)} - \bar{x}^{(1)}) + \beta_2 \cdot (x_{ijkl}^{(2)} - \bar{x}^{(2)}) + \beta_3 \cdot (x_{ijkl}^{(3)} - \bar{x}^{(3)}) + \varepsilon_{ijkl}$$

gdzie:

- μ – średnia gęstość umowna drewna,
- y_{ijkl} – gęstość umowna drewna na wysokości pierśnicy,
- α_i – efekt i -tego regionu,
- β_j – efekt j -tego typu siedliskowego lasu,
- γ_k – efekt k -tej klasy wieku,
- $(\alpha\beta)_{ij}$ – efekt interakcji i -tego regionu i j -tego typu siedliskowego lasu,
- $(\beta\gamma)_{jk}$ – efekt interakcji j -tego typu siedliskowego lasu i k -tej klasy wieku,
- $(\alpha\gamma)_{ik}$ – efekt interakcji i -tego regionu i k -tej klasy wieku,
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – współczynniki regresji,
- $x_{ijkl}^{(1)}$ – pierśnica,
- $\bar{x}^{(1)}$ – średnia pierśnica,
- $x_{ijkl}^{(2)}$ – gęstość w połowie długości grubizny,
- $\bar{x}^{(2)}$ – średnia gęstość w połowie długości grubizny,
- $x_{ijkl}^{(3)}$ – gęstość w górnym końcu grubizny,
- $\bar{x}^{(3)}$ – średnia gęstość w górnym końcu grubizny,
- ε_{ijkl} – błąd losowy.

Przyjęcie dwóch typów modelu było spowodowane tym, że bór suchy i las mieszany świeży były reprezentowane tylko przez drzewostany III klasy wieku. Aby wyeliminować w doświadczeniu wpływ zmiennych towarzyszących, obliczono tzw. średnie poprawione. Do szczegółowego ich

porównania zastosowano test Tukeya przy poziomie istotności $\alpha=0,05$. Obliczenia wykonano wykorzystując program statystyczny Statgraphics.

Wyniki

ZALEŻNOŚĆ GĘSTOŚCI UMOWNEJ DREWNA OD WYSOKOŚCI NA DRZEWIE I PIERŚNICY. Gęstość drewna na wysokości pierśnicy najsilniej jest skorelowana z gęstością w połowie długości grubizny. Istotność takiego związku stwierdzono na 23 powierzchniach spośród 40 badanych. Poza czterema przypadkami wzrost gęstości drewna na wysokości pierśnicy powoduje wzrost gęstości w połowie długości grubizny strzały. Dużo słabsza jest korelacja z gęstością w górnym końcu grubizny. Jest ona na ogół dodatnia, ale tylko w 8 przypadkach wykazano jej istotność. Jeszcze słabiej gęstość drewna na wysokości pierśnicy jest skorelowana z pierśnicą. Częściej korelacja ta jest ujemna, a istotne wartości współczynnika korelacji stwierdzono tylko w 6 przypadkach. Istotność korelacji gęstości drewna na wysokości pierśnicy ze średnią szerokością słoja przyrostu rocznego na wysokości pierśnicy zaobserwowano tylko na 1 powierzchni. Tłumaczy się to dużą zmiennością udziału drewna wczesnego w przyroście rocznym na całym przekroju poprzecznym pnia.

Mimo że gęstość drewna na wysokości pierśnicy jest stosunkowo słabo skorelowana z gęstością w górnym końcu grubizny, to gęstość w połowie długości grubizny w większości przypadków (60% badanych powierzchni) jest z nią skorelowana istotnie i dodatnio. Można to tłumaczyć bliższym położeniem, a zarazem większym wzajemnym wpływem poziomów w połowie długości i w górnym końcu grubizny. Związek gęstości w połowie długości grubizny z pierśnicą jest bardzo słaby i został wykazany tylko w 5 przypadkach, natomiast związek ze średnią szerokością przyrostu rocznego na wysokości pierśnicy stwierdzono zaledwie na 1 powierzchni. Gęstość w górnym końcu grubizny w 13 drzewostanach jest istotnie skorelowana z pierśnicą i jest to na ogół zależność ujemna. Bardzo słabą korelację, też częściej ujemną, i tylko w 2 przypadkach istotną, stwierdzono między gęstością w górnym końcu grubizny i przeciętną szerokością słoja przyrostu rocznego. Najsilniejszy związek wśród badanych cech wystąpił pomiędzy przeciętną szerokością słoja przyrostu rocznego na wysokości pierśnicy i pierśnicą. Korelacja ta była dodatnia i istotna w 39 drzewostanach.

GĘSTOŚĆ UMOWNA DREWNA W ZALEŻNOŚCI OD WIEKU, SIEDLISKA I POŁOŻENIA DRZEWSOSTANU. Średnia gęstość umowna z wszystkich przebadanych prób osiągnęła wartość 417 kg/m^3 .

Średnie wartości gęstości na wysokości pierśnicy na poszczególnych powierzchniach wahają się od 387 kg/m^3 na borze świeżym w II klasie wieku w Lasach Iławskich do 504 kg/m^3 na borze mieszanym świeżym w V klasie wieku także w Lasach Iławskich (tab. 1). Średnia gęstość dla tej wysokości równa się 461 kg/m^3 , a współczynnik zmienności w ramach powierzchni wynosi od 2,68 do 8,19%. W połowie długości grubizny gęstość umowna drewna jest zdecydowanie niższa i wynosi średnio 402 kg/m^3 . Wartości zmieniają się w granicach od 355 kg/m^3 na borze świeżym w II klasie wieku w Puszczy Knyszyńskiej do 446 kg/m^3 na borze suchym w III klasie wieku w Borach Tucholskich (tab. 1). Zmienność w ramach poszczególnych powierzchni jest jednak znacznie wyższa niż na wysokości pierśnicy i wynosi od 2,55 do 12,10%. Najmniejsze różnice średnich wartości gęstości wystąpiły w górnym końcu grubizny, gdzie wahała się ona od 354 kg/m^3 na borze świeżym w II klasie wieku w Puszczy Knyszyńskiej do 436 kg/m^3 na borze świeżym w III klasie wieku w Lasach Zielonogórskich (tab. 1). Zmienność gęstości na tym poziomie w ramach poszczególnych powierzchni jest równie duża jak w połowie długości grubizny i wynosi od 2,62 do 11,32%.

Tabela 1.

Średnia (ρ [kg/m³]) i współczynnik zmienności (V [%]) gęstości umownej drewna sosny na różnych wysokościach strzały w zależności od typu siedliskowego, klasy wieku i lokalizacji

Mean (ρ [kg/m³]) and coefficient of variance (V [%]) of conventional pine wood density with regard to height on the stem, age, habitat type and location

Po- ziom* III	Bśw			Bśw			Bśw			Bśw			L.Mśw III							
	ρ	V	ρ	V	ρ	V	ρ	V	ρ	V	ρ	V	ρ	V	ρ					
1	4,93	4,11	7,16	3,51	4,50	3,51	4,69	4,92	4,91	8,19	4,17	4,60	4,12	4,44	4,42	4,86	5,10	4,19	4,74	
2	5,40	3,55	4,33	4,91	3,73	4,91	6,03	3,97	5,10	3,76	5,78	3,67	5,82	3,89	4,56	3,80	3,72	3,82	5,40	
3	5,27	3,54	4,86	3,07	3,82	3,07	3,92	5,24	3,90	5,21	3,67	5,58	4,09	4,68	4,03	7,29	3,72	5,58	7,97	
Puszcza Knyszynska																				
1	4,69	6,13	3,87	8,01	4,62	4,88	4,89	2,68	4,93	6,02	4,24	3,60	4,49	5,75	4,87	3,37	5,04	5,97	4,41	4,53
2	4,03	5,88	3,78	9,71	3,98	4,72	4,10	2,99	4,06	4,38	3,71	3,75	3,80	4,46	4,08	3,02	4,23	8,03	4,09	5,66
3	3,92	3,82	3,55	5,86	3,90	9,77	3,96	5,49	4,10	9,49	3,60	4,24	3,81	8,35	3,84	10,19	4,23	11,32	3,79	5,12
Lasy Hawskie																				
Bory Tucholskie																				
1	4,91	7,26	4,56	6,38	4,73	4,83	4,87	4,06	4,82	5,08	4,19	6,79	4,80	4,70	4,75	7,37	4,75	3,94	4,67	4,28
2	4,46	6,48	3,86	5,50	4,05	5,08	4,03	2,55	4,27	3,48	3,82	10,40	4,12	3,68	4,03	5,77	3,82	5,82	4,25	2,97
3	4,13	6,66	3,65	6,90	3,84	9,16	3,76	8,10	3,83	4,31	3,75	8,74	3,79	7,31	3,67	7,29	3,79	8,18	4,11	6,98
Lasy Zielonogórskie																				
1	4,93	6,10	4,50	6,65	4,47	5,24	4,76	3,90	5,02	6,32	4,55	7,16	4,70	3,11	4,86	5,18	4,98	6,61	4,46	6,10
2	4,34	5,15	4,07	5,14	4,26	7,57	4,35	12,10	4,39	5,22	3,99	5,38	4,31	3,29	4,36	5,26	4,24	6,24	3,90	3,28
3	4,06	6,25	3,89	6,74	4,36	8,76	4,21	11,24	4,13	2,62	3,74	7,74	4,28	4,64	3,82	6,46	4,05	5,48	3,78	3,71

* 1 – wysokość piersnicy (1,3 m), 2 – połowa długości grubizny; 3 – górny koniec grubizny

* 1 – breast height level (1.3 m); 2 – mid-length of the stem; 3 – upper end of merchantable timber

Na wszystkich trzech analizowanych poziomach gęstość drewna na ogół wzrasta wraz z wiekiem drzewostanu. Zależność ta jest widoczna najwyraźniej na poziomie pierśnicy, zwłaszcza w Puszczy Knyszyńskiej i w Lasach Iławskich (tab. 1). Tendencja ta utrzymuje się, choć mniej wyraźnie, również w połowie długości grubizny. Dla drewna pobranego z górnego końca grubizny zależność gęstości od wieku jest w ogóle niezauważalna w przypadku Borów Tucholskich i Lasów Zielonogórskich.

Najwyższą średnią gęstość drewno sosnowe osiągnęło na siedlisku boru suchego (426 kg/m^3), a najniższą – na siedlisku lasu mieszanego świeżego (409 kg/m^3). Średnie wartości gęstości z wszystkich regionów i z czterech klas wieku dla siedliska boru świeżego i boru mieszanego świeżego wynoszą odpowiednio 419 i 415 kg/m^3 . Największe średnie wartości gęstości stwierdzono dla sosen w Lasach Zielonogórskich (433 kg/m^3), nieco niższe w Borach Tucholskich (420 kg/m^3) i Lasach Iławskich (415 kg/m^3), a najniższe w Puszczy Knyszyńskiej (401 kg/m^3). Zależność ta nie była już widoczna dla gęstości drewna pobranego z górnego końca grubizny.

Zmienność gęstości w ramach poszczególnych typów siedliskowych lasu i klas wieku jest zdecydowanie niższa niż dla poszczególnych powierzchni badawczych (tab. 2). Dla poziomu pierśnicy wynosi od $4,40$ do $9,57\%$, w połowie długości grubizny – od $6,02$ do $8,75\%$, a w górnym końcu grubizny – od $6,80$ do $9,50\%$. Przedstawione w tabeli 2 współczynniki zmienności nie dają jednak podstaw do stwierdzenia, że zmienność dla którejkolwiek z klas wieku czy typu siedliskowego lasu jest zdecydowanie większa lub mniejsza.

ZALEŻNOŚĆ GĘSTOŚCI UMOWNEJ DREWNA NA WYSOKOŚCI PIERŚNICY OD BADANYCH CZYNNIKÓW. Wpływ pierśnicy na gęstość umowną drewna jest znaczny, pomimo że z 95% pewnością udało się go stwierdzić tylko w modelu 1. W modelu 2 stwierdzono go z prawdopodobieństwem $93,8\%$ (tab. 3 i 4).

W obydwu modelach stwierdzono istotną zależność gęstości umownej drewna na pierśnicy względem gęstości drewna w połowie długości grubizny strzały. Nie zaobserwowano natomiast istotnej zależności tej cechy od gęstości umownej drewna w górnym końcu grubizny. W modelu 1 nie stwierdzono zależności gęstości umownej drewna na pierśnicy od typu siedliskowego lasu (tab. 3), ale w modelu 2 jest ona bardzo silna (tab. 4). Dla obydwu modeli potwierdziła się silna zależność gęstości umownej drewna od wieku drzewostanu.

Tabela 2.

Zmienności [%] gęstości umownej drewna sosnowego w zależności od typu siedliskowego lasu i klasy wieku na różnych wysokościach na strzale

Variation [%] of conventional wood density with regard to forest habitat type and age class at different heights on the stem

Typ siedliskowy lasu	Poziom	II	III	IV	V
Bór suchy	1	–	8,14	–	–
	2	–	8,75	–	–
	3	–	7,40	–	–
Bór świeży	1	9,57	5,02	4,40	6,42
	2	7,98	7,40	7,77	6,02
	3	7,10	9,50	8,76	6,94
Bór mieszany świeży	1	6,67	7,59	6,33	5,74
	2	7,12	7,35	6,33	8,06
	3	6,80	7,26	8,03	9,44
Las mieszany świeży	1	–	6,14	–	–
	2	–	6,02	–	–
	3	–	7,72	–	–

Tabela 3.

Analiza wariancji dla gęstości umownej drewna na wysokości pierśnicy (model 1)
 Analysis of variance for conventional wood density at breast height (model 1)

Zródło zmienności	Suma kwadratów odchyień	Liczba stopni swobody	Średni kwadrat odchyień	F empiryczne
Zmienna losowa				
pierśnica	0,0018972	1	0,0018972	3,862
gęstość 2	0,0386714	1	0,0386714	78,725
gęstość 3	0,0004548	1	0,0004548	0,926
Efekt główny				
region	0,0055201	3	0,0018400	3,746
siedlisko	0,0001212	1	0,0001212	0,247
wiek	0,0169354	3	0,0056451	11,492
Interakcje				
region-siedlisko	0,0084901	3	0,0028300	5,761
region-wiek	0,0287410	9	0,0031934	6,501
siedlisko-wiek	0,0021777	3	0,0007259	1,478
Błąd	0,1444190	294		

Tabela 4.

Analiza wariancji dla gęstości umownej drewna na wysokości pierśnicy (model 2)
 Analysis of variance for conventional wood density at breast height (model 2)

Zródło zmienności	Suma kwadratów odchyień	Liczba stopni swobody	Średni kwadrat odchyień	F empiryczne
Zmienna losowa				
pierśnica	0,0017201	1	0,0017201	3,488
gęstość 2	0,0510816	1	0,0510816	103,588
gęstość 3	0,0000039	1	0,0000039	0,008
Efekt główny				
region	0,0044237	3	0,0014746	2,990
siedlisko	0,0099107	3	0,0033036	6,699
wiek	0,0209435	3	0,0069812	14,157
Interakcje				
region-siedlisko	0,0151643	3	0,0016849	3,417
region-wiek	0,0285367	9	0,0031707	6,430
Błąd	0,1819619	369		

W modelu 1 nie stwierdzono istotnej różnicy pomiędzy średnimi wartościami gęstości umownej drewna na siedliskach boru świeżego i boru mieszanego świeżego. Zaobserwowano natomiast istotne różnice między poszczególnymi klasami wieku oraz między Puszcą Knyszyńską a Borami Tucholskimi i między Borami Tucholskimi a Lasami Zielonogórskimi.

W modelu 2 istotne różnice średnich gęstości umownej drewna wystąpiły między lasem mieszanym świeżym a pozostałymi typami siedliskowymi lasu. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic między borem suchym, świeżym i borem mieszanym świeżym. Podobnie jak w modelu 1 średnie gęstości umownej drewna dla poszczególnych klas wieku różniły się między sobą. Istotną różnicę zaobserwowano jedynie między gęstością sosen reprezentujących Puszcę Knyszyńską i Lasy Zielonogórskie.

Dyskusja

Przeprowadzone badania wykazały bardzo silną dodatnią zależność gęstości umownej drewna od wieku drzew. Do takiego samego wniosku doszedł Splawa-Neyman [1994], mimo że badał wyłącznie drzewostany stosunkowo młode (w wieku 30, 40 i 60 lat). Otrzymane wyniki świadczą także o zależności gęstości umownej drewna od typu siedliskowego lasu. Również Niedzielska i Muszyński [1986] otrzymali na siedlisku lasu mieszanego świeżego gęstość niższą niż na siedlisku boru świeżego. Według Paschalisa [1980] największą gęstość drewna sosna osiąga na siedlisku boru świeżego, a istotnie mniejszą na borze suchym, co jest przez autora tłumaczone efektem pogarszających się warunków życiowych. Również Splawa-Neyman [1994] otrzymał wyniki inne niż prezentowane w niniejszej pracy. W drzewostanach 60-letnich największą gęstość miało drewno na siedlisku boru świeżego, następnie lasu mieszanego świeżego i boru suchego, a najmniejszą – boru mieszanego świeżego. W młodszych drzewostanach najmniejszą gęstością charakteryzowało się drewno na siedlisku lasu mieszanego świeżego, co jest zgodne z wynikami niniejszych badań.

Niemniej zgodne z dotychczasową wiedzą o gęstości drewna są wyniki dotyczące jej zmienności geograficznej. W niniejszych badaniach stwierdzono zależność gęstości drewna sosny od regionu, co potwierdza wcześniejsze obserwacje [Trendelenburg, Mayer-Wegelin 1955; Paschalis 1980]. Samorzewski [1962] zauważył, że drewno w ramach jednego regionu nie różni się istotnie. Niniejsze badania świadczą o wzroście gęstości drewna w kierunku ze wschodu na zachód Polski. Paschalis [1980] obserwował, że gęstość drewna sosny zmniejsza się w kierunku z północy na południe i ze wschodu na zachód. Rozbieżności wynikają prawdopodobnie stąd, że badania prowadzone były we wschodniej części Polski, a niniejsze wyniki oparte są na badaniach prowadzonych w czterech regionach, rozmieszczonych w kierunku ze wschodu na zachód. Otrzymane przez nas wyniki częściowo potwierdzają stwierdzenie Kowalskiego [1985], że drzewostany macierzyste, z których wyhodowano drzewa o największej gęstości, występują w zachodniej części Polski, wzdłuż Odry.

Według powszechnego poglądu wraz ze zwiększaniem się szerokości przyrostów rocznych należy się spodziewać zmniejszania gęstości drewna [Hausbrandt 1953]. Uzasadniane jest to tym, że udział drewna późnego (o większej gęstości) jest na ogół stały. W niniejszych badaniach nie stwierdzono istotnego wpływu przeciętnej szerokości przyrostu rocznego na gęstość drewna. Zaobserwowano zmniejszanie się gęstości drewna wraz ze wzrostem średniej szerokości przyrostu rocznego. W słojach wąskich (0,5-1,5 mm szerokości) spadek ten jest bardzo łagodny, a w szerokich (do 3,5 mm szerokości) bardziej zdecydowany. Trendelenburg i Mayer-Wegelin [1955], przedstawiając tę zależność, wykazywali nieco inny jej przebieg. Gęstość zwiększała się wraz ze wzrostem szerokości przyrostu rocznego do około 1,5 mm, a następnie malała. Spadek ten, do szerokości przyrostu równej 2 mm był łagodny, a później silny. Podobne obserwacje poczynił Krzysik [1974], twierdząc, że w drewnie iglastym w miarę zmniejszania się szerokości słoików gęstość rośnie do pewnej granicy. Dalsze zmniejszanie się szerokości słoika powoduje spadek gęstości drewna. Również Laurow [1975] podaje, że gęstość osiąga największe wartości przy słojach przeciętnej szerokości. Równocześnie jednak twierdzi, że korelacja gęstości i szerokości słoików rocznych jest ujemna. Jedyne rozbieżności dotyczą więc przebiegu gęstości przy przeciętnej szerokości słoika do około 1,5 mm. Różnice te mogą wynikać z tego, że niekiedy, przy bardzo wąskich słojach rocznych, drewno późne prawie wcale się nie wytwarza [Hausbrandt 1953] lub, że grubość błon komórkowych w drewnie pochodzącym z różnych siedlisk i stref klimatycznych nie jest taka sama [Laurow 1973].

Wnioski

- ✦ Gęstość umowna drewna sosny najsilniej skorelowana była z wiekiem drzewostanu, zwiększając się wraz z jego wzrostem. Największe różnice w gęstości stwierdzono między drugą a starszymi klasami wieku.
- ✦ Stwierdzono zależność gęstości umownej drewna od typu siedliskowego lasu. Nie zaobserwowano istotnych różnic gęstości umownej drewna między siedliskami boru świeżego i boru mieszanego świeżego.
- ✦ Największą gęstością charakteryzowało się drewno w Lasach Zielonogórskich, a najmniejszą – w Puszczy Knyszyńskiej. Stwierdzono istotne różnice w badanym parametrze między Puszcza Knyszyńską a Borami Tucholskimi oraz między Borami Tucholskimi a Lasami Zielonogórskimi.
- ✦ Prezentowane wartości gęstości umownej drewna sosny mogą być wykorzystane przez zakłady przemysłu celulozowo-papierniczego i płytowego do szacunkowego określania suchej masy zakupionego surowca drzewnego.

Literatura

- Borowski M. 1974. Przyrost drzew i drzewostanów. PWN, Warszawa.
- Borowski M., Dziekoński H. 1974. Rozkład przyrostu grubości wzdłuż strzał sosen w zależności od stanowiska socialnego drzew. Sylwan 118 (11): 8-15.
- Elandt R. 1964. Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczeń rolniczych. PWN, Warszawa.
- Giefing D. F., Jabłoński K. 1989. Zależność między gęstością a wilgotnością drewna żywych sosen. Sylwan 133 (1-2): 75-82.
- Grabiński T., Wydimus S., Zeliaś A. 1982. Metody doboru zmiennych w modelach ekonometrycznych. PWN, Warszawa.
- Hausbrandt L. 1953. Badania porównawcze nad strukturą anatomiczną sosny krajowej i niektórych obcych uprawianych w Polsce. Rocznik Sekcji Dendrologicznej PTB.
- Kobyliński F. 1967. Wyniki badań technicznych właściwości drewna drzewostanów sosnowych z różnych krain przyrodniczo-leśnych. Przemysł Drzewny 11: 6-7.
- Kowalski G. 1985. Zmienność gęstości drewna sosnowego z uprawy proveniencyjnej Leśnego Zakładu Doświadczalnego SGGW-AR w Rogowie. Sylwan 129 (5): 77-81.
- Krempel H. 1977. Gewicht des Fichtenholzes in Osterreich. Allgemeine Forstzeitung 88: 76-81.
- Krzysik F. 1974. Nauka o drewnie. PWRiL, Warszawa.
- Laurow Z. 1973. Zmienność niektórych cech drewna sosnowego w zależności od pochodzenia. Przegląd papierniczy 10: 8-12.
- Laurow Z. 1975. Kształtowanie się jakości technicznej drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) pochodzącej z wybranych siedlisk Puszczy Piskiej. Zeszyty Naukowe SGGW-AR, Rozprawy Naukowe 56.
- Lewark S. 1987. Untersuchungen an Buchenbeständen Nordwestdeutschlands über die Variation der Rohdichte. Universität Göttingen 88: 1-118.
- Niedzielska B. 1988. Zastosowanie wywierców w badaniach drewna. Sylwan 132 (11-12): 99-104.
- Niedzielska B. 1990. Badania zmian zachodzących w drewnie sosny zwyczajnej pod wpływem skażenia środowiska. Dok. Akademii Rolniczej, Kraków.
- Niedzielska B. 1991. Analiza zmian zachodzących w podstawowych właściwościach drewna pięciu gatunków drzew leśnych pod wpływem skażenia środowiska. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Leśnictwo 20: 375-391.
- Niedzielska B., Muszyński Z. 1986. Badania porównawcze wybranych właściwości drewna drzew doborowych na tle drzew populacji 8 proveniencji sosny zwyczajnej z terenu Polski. Dok. AR, Kraków.
- 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. Fol. For. Pol. Ser. A 44: 77-86.
- Paschalis P. 1980. Zmienność jakości technicznej drewna sosny pospolitej we wschodniej części Polski. Sylwan 124 (1): 29-43.
- 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. 1994a. Zmiany niektórych wskaźników własności drewna sosny z terenów zanieczyszczonych przemysłowo. Sylwan 138 (8): 35-41.

- Paschalis P., Staniszewski P. 1994b. 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
- Pazdrowski W. 1981. Wpływ podkrzesania sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na zmiany gęstości i wytrzymałości jej drewna. Sylwan 125 (7-9): 79-86.
- Pazdrowski W. 1992. Współzależność pomiędzy średnią gęstością umowną i wytrzymałością drewna kłód odziomkowych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) a gęstością i wytrzymałością określoną na różnych wysokościach pnia. Sylwan 136 (1): 31-40.
- Pazdrowski W., Splawa-Neyman S. 1996. Budowa i fizyczna charakterystyka drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z drzewostanów w wieku przedrębnym, jako podstawa racjonalizacji przeznaczeń i wykorzystania surowca drzewnego. 10 Konferencja Naukowa wydziału Technologii Drewna SGGW „Drewno – tworzywo inżynierskie”. 35-41.
- PN-77/D-04227. 1977. Drewno. Ogólne wytyczne pobierania i przygotowania próbek.
- Samorzewski J. 1962. Fizyczne i mechaniczne właściwości drewna sosnowego z Puszczy Piskiej. Prace ITD 9 (1): 41-49.
- Smykała J. 1959. Badania nad sposobami i dokładnością oznaczania przyrostu pierśnicy w stopniach pierśnicy na przykładzie drzewostanów sosnowych. Maszyn. SGGW, Warszawa.
- Splawa-Neyman S. 1994. Selected properties of Scots Pine (*L.*) wood in dependence upon forest stand type and age of the trees. Prace Instytutu Technologii Drewna 137/138: 19-28.
- Tomczak A., Pazdrowski W., Jelonek T., Grzywiński W. 2009. Jakość drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) Część I. Charakterystyka wybranych cech i właściwości drewna wpływających na jego jakość. Sylwan 153 (6): 363-372.
- Trendelenburg R., Mayer-Wegelin H. 1955. Das Holz als Rohstoff. Carl Hanser Verlag. München.
- Wojciechowski Z., Splawa-Neyman S. 1991. Properties of wood of scots pine from forest stands positioned in various distance from industrial pollution source. Folia Forestalia Polonica, Seria B 22: 9-14.
- Wolski J. 1969. Pierśnica – reprezentatywną cechą do wyboru drzew próbnych przy oznaczaniu fizycznych i mechanicznych właściwości drewna. Sylwan 113 (8): 77-78.

SUMMARY

Variability of conventional wood density of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) depending on the selected factors

Field and laboratory studies were performed to determine the variation in conventional wood density of Scots pine and its dependence on the forest habitat type, stand age, geographical location of stands, location on the stem and average tree-ring width. For study we selected Knyszyn Primeval Forest, Hawa Forest, Tuchola Primeval Forest and Zielona Góra Forests. The study was carried out in the most typical pine forest habitats, i.e. in fresh coniferous and fresh mixed coniferous forests, and for comparison in dry coniferous and fresh mixed broadleaved forests. The study involved four age classes: II (21-40 yrs), III (41-60 yrs), IV (61-80 yrs) and V (81-100 yrs). Each of the four selected regions of the country was represented by 10 stands. 400 sample trees (10 trees from each plot per each location) were taken for testing. Research material consisted of wood samples in the form of discs collected from three height levels of the stem: breast height, mid-length and upper section. In total, 1200 samples were taken for analysis. It was assumed that conventional wood density at breast height was affected by certain factors (region, forest habitat type, tree age) and associated parameters (density in the mid-length of the stem, density in the upper section of the stem and diameter at breast height). To examine these impacts, an analysis of covariance was used according to the proposed two models.

The conventional wood density at breast height is most correlated with the density in the mid-length of the stem, considerably less with the density in the upper end of the stem, still less with the diameter at breast height and average tree-ring width. Relationships for density in the mid-length, in the upper end of the stem, the diameter at breast height and average tree-

-ring width are very weak. The strongest, positive, correlation among the studied traits occurred between the average tree-ring width at breast height and diameter at breast height. The conventional density of pine wood was most strongly positively correlated with stand age. The largest differences in density were found for the wood from forests between class II and the other age classes. We also found the dependence of conventional wood density on forest habitat type. The highest density values were found in dry coniferous forests, while the smallest in fresh mixed broadleaved forests. There were no significant differences in wood density between fresh coniferous forest habitats and fresh mixed coniferous forest habitats. The assessment of the dependence of conventional wood density on the geographical region showed that the density of wood was the highest in the Zielona Góra Forests and the lowest in the Knyszyn Primeval Forest. Significant differences in conventional wood density of stands growing in fresh coniferous and fresh mixed coniferous forest habitats were found between the Knyszyn Primeval Forest and the Zielona Góra Forests, while taking into consideration all studied habitats between the Knyszyn Primeval Forest and the Tuchola Primeval Forests and the Zielona Góra Forests. The conventional density of pine wood calculated for each region, age classes and forest habitat types can be used in the pulp and paper industry and board production to estimate the dry weight of purchased wood material.