

Cechy diagnostyczne jesionu wyniosłego (*Fraxinus excelsior* L.) z falistością włókien rosnącego na Ukrainie

Diagnostic features of *Fraxinus excelsior* L. with wavy-grained wood growing in Ukraine

Ivan Sopushynskyy¹✉, Alfred Teischinger²

¹Ukrainian National Forestry University, Department of Botany, Wood Science and Non-Wood Forest Products, Tchuprynkstr., 103, 79057 Lviv, Ukraine;

²University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Institute of Wood Science and Technology Konrad-Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln an der Donau, Austria

✉Tel. +380 97 4592870, fax +380 32 2378905, e-mail: sopushynskyy@yahoo.com

Abstract. The paper presents analysis of biometric features of ash with wavy-grained wood, which has decorative appeal. The research results shows that fresh broadleaves ash forest stands growing in the Vinnytsya and Sokyryany Regions of Ukraine have high potential for growing curly ash. The differences between straight-grained and wavy-grained wood density and macrostructure were analysed and estimated. Statistical evaluation of the aesthetic macrostructure of wood characteristics indicated that the length of wave varied from 3.25 to 10.83 mm and its amplitude varied from 0.37 to 1.74 mm. The average width and mean height of anomalies in wood formation were equal to 15.89 mm and 5.00 mm, and their mean occurrence was 30 times m². Average annual growth ring width of wavy-grained ash wood was clearly greater (by 25 %) than that of straight-grained wood. The density of wavy-grained wood was 82 kg·m⁻³ higher than straight-grained wood after oven-drying and 70 kg·m⁻³ higher prior to oven-drying.

Key words: common ash, wavy-grained wood, biometry, decorative wood, anomaly wood, forest stands

1. Wstęp

Jesion wyniosły jest jednym z ważnych gatunków drzew liściastych na Ukrainie i w całej Europie. W wieku 100 lat drzewa osiągają wysokość 30 m i pierśnicę 60–70 cm. Dzięki swojej strukturze drewno jesionu jest dekoracyjne (Gottwald 1989; Schmidt 2002; Hemery et al. 2008; Sopushynskyy 2011). Jedną z cech jesionu, różniącą go od innych gatunków drzew, są swoiste anomalie drewna, jak np. falisty układ włókien (ryc. 1).

Drewno jesionu wyniosłego o falistym układzie włókien jest cenne pod względem dekoracyjnym. Taki rysunek drewna jest określany jako nietypowy lub nieprawidłowy, zwiększający wartość estetyczną produktów z litego drewna (Beals et al. 1977; Bauch 1980; Harris 1989; Bucur 2006; Sopushynskyy et al. 2006).

Falistość włókien nadaje wyrobom z drewna jesionu drobnoziarnistą teksturę o wysokiej wartości ozdobnej (Chovanec 1986; Gottwald 1989; Wobst 1994; Sopushynskyy 2011).

Jakość drewna dekoracyjnego może być odzwierciedlona przez jego użyteczność i dlatego jest określana przez konsumentów. Kryteria jakościowe drewna mogą znajdować zastosowanie jedynie w konkretnych celach, dla jakich wykorzystywany jest surowiec drzewny (Harris 1989; Grzeskiewicz 2007; Hemery et al. 2008). Główne cechy określające klasy jakości drewna jesionowego zgodnie z obecnymi normami europejskimi, np. niemieckimi (Normen über Holz 2009), obejmują przeciętną średnicę, występowanie sęków, przyrosty drewna, kolor, krzywiznę kłody itp., ale nie uwzględniają jego właściwości dekoracyjnych: szerokości i wyso-



Rycina 1. Drewno o falistym układzie włókien jesionu wyniosłego rosnącego na Ukrainie
 Figure 1. The wavy-grained wood of common ash growing in Ukraine

kości anomalii w budowie drewna, ich liczby itp., chociaż wartość ozdobna drewna jesionowego ma znaczenie w kontekście klasyfikacji opartej na cechach ilościowych i jakościowych (Yatsenko-Khmelewskyy 1954; Rioux et al. 2003; Vintoniv et al. 2007; Sopushynskyy 2006, 2012).

Różnorodność wymagań konsumentów odnośnie do swoistych cech estetycznych drewna sprawia, że surowiec drzewny jest przecierany lub skrawany w taki sposób, by produkty z drewna miały powierzchnię jednorodną lub o teksturze dekoracyjnej (Mayevskyy et al. 2008). Niedostateczna wiedza na temat gatunków drzew liściastych o drewnie wysoce ozdobnym (w przypadku jesionu – dzięki falistości włókien) sprawia, że uprawa tych gatunków nie cieszy się popularnością, a podaż drewna wartościowego ze względu na walory dekoracyjne jest nieregularna. Z drugiej strony wykazano, że końcowi odbiorcy są gotowi zapłacić wyższą cenę za dostosowane do oczekiwań i potrzeb klienta produkty, np. meble, dekoracje wnętrz, ozdobne podłogi (Furnier Magazin 2008, 2009; Surface Magazin 2008, 2009, 2010; Laminat Magazin 2008, 2009).

Celem przedstawionych badań jest ocena cech biometrycznych i makrostruktury drewna jesionowego o falistym układzie włókien oraz określenie różnic w gęstości drewna prostowłóknistego i falistowłóknistego. Artykuł wyznacza również ramy przyszłych badań w zakresie opracowania diagnostycznego modelu jesionu z falistością włókien. Ponadto zawiera on informacje mogące służyć ochronie jesionu o wysoce ozdobnym drewnie.

2. Obiekt i metody badań

Badania prowadzono w drzewostanach jesionowych na siedlisku lasu świeżego w obwodzie winnickim i czerniowieckim (rejon sokiriański) na Ukrainie. Dane hodowlane i dendrometryczne drzewostanów zostały

zebrane na trzech powierzchniach obserwacyjnych (PO) w trakcie badań terenowych, skoncentrowanych na identyfikacji i szczegółowym zbadaniu okazów jesionu z drewnem o falistym układzie włókien, jak również poznaniu potencjału hodowlanego takich drzew (tab. 1).

Ogółem przebadano pod względem cech biometrycznych i morfologicznych oraz gęstości drewna po 11 przeciętnych drzew jesionu z drewnem falistowłóknistym oraz prostowłóknistym. Cechy biometryczne określono po ścięciu drzew. W celu usystematyzowania wiedzy o poszczególnych cechach morfologicznych jesionu z falistym układem włókien wykorzystano cechy biometryczne przedstawione na rycinie 2.

Morfologiczne cechy powierzchni drewna i szerokość przyrostu rocznego zostały zmierzone na podstawie zdjęć cyfrowych przy użyciu programu AutoCAD 8.0. Gęstość drewna określono na wysokości pierśnicy. Dyski zostały pocięte na trzy segmenty: drewno juvenile, gdzie może być inicjowane formowanie twardzieli (od 5 do 20 pierścienia przyrostu rocznego od rdzenia drzewa), drewno przejściowe (w przybliżeniu 10–40 kolejnych pierścieni) oraz drewno bielaste (20–60 pierścieni przyrostu rocznego licząc od kory). Objętość segmentów została oznaczona metodą wypornościową w wodzie. Wykorzystując metodę suszarkową, oznaczono suchą masę po 24 h w temperaturze $103 \pm 2^\circ\text{C}$. Początkowe ważenie każdej próbki wykonano z dokładnością do 0,001 g na wadze niezwłocznie po zebraniu próbek. Błędy pomiaru, wynikające z wpływu czasu między pobraniem próbek a ich zważeniem, zminimalizowano przez umieszczenie wycinków w torebkach polietylenowych niezwłocznie po ich pobraniu. Gęstość względna drewna została obliczona jako stosunek masy suchego drewna do objętości drewna świeżego; gęstość drewna suchego obliczono jako stosunek masy do objętości drewna suchego (Vintoniv et al. 2007).

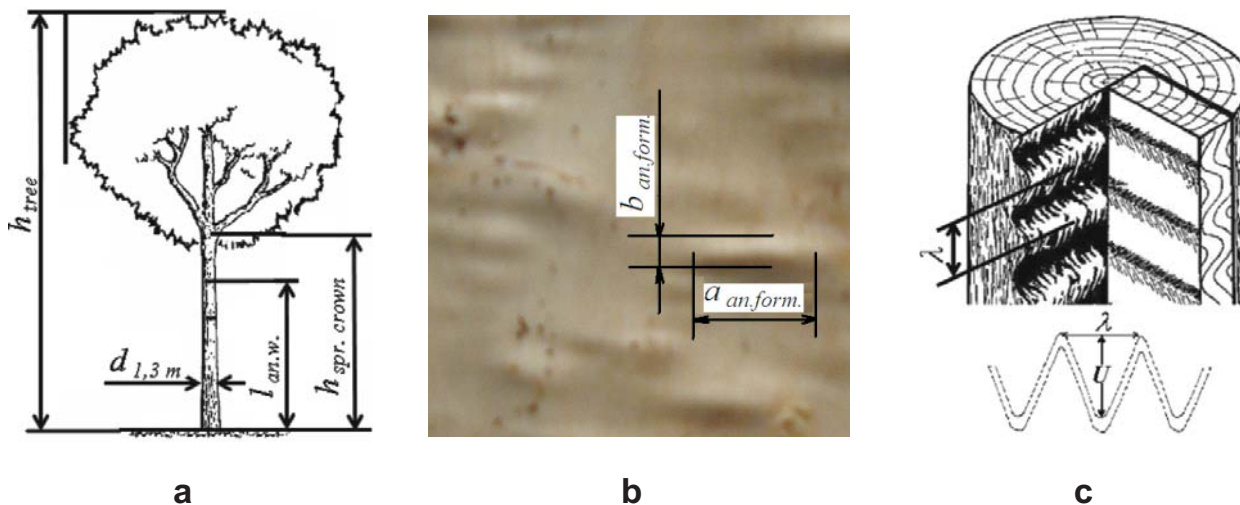
Wyniki poddano analizie wariancji (SPSS 13.0 – One-Way ANOVA). Wykonano jednoczynnikową analizę wariancji dla zmiennej zależnej ilościowej ze względu na wartości zmiennych niezależnych. W

Tabela 1. Charakterystyka powierzchni badawczych jesionu wyniosłego

Table 1. Forest and estimated features of observation plots of ash stands

Numer działki Observation plots	Położenie geograficzne i wysokość n.p.m. Latitude & altitude	Skład gatunkowy drzewostanu* Tree species composition composition*	Wiek [lata] Age [years]	Bonitacja / Zadrzewienie quality index / stand density index	H [m]	D [cm]	M [m ³]
1	48°27'28"N 27°20'56"E 290 m	8Js2DBs	90	II / 0,70	28	36	330
2	49°06'01"N 28°40'16"E 287 m	4Js5Gb11Jw+Lp+Kl	82	I / 0,70	28	36	307
3	49°06'30"N 28°39'15"E 295 m	4Js5Gb1Jw+DBs+Lp	91	Ia / 0,90	32	46	400

* Js – *Fraxinus excelsior* L.; DBs – *Quercus robur* L.; Gb – *Carpinus betulus* L.; Jw – *Acer pseudoplatanus* L.; Lp – *Tilia cordata* MHL; Kl – *Acer platanoides* L.; + – <5% / defined as <5%, H – przeciętna wysokość / average tree height, D – przeciętna pierśnica / average tree diameter, M – miąższość na hektar / timber volume per hectar



Rycina 2. Cechy biometryczne jesionu wyniosłego: a) drzewo: $l_{fm.w.}$ – długość strefy anomalii drewna [m]; h_{tree} – wysokość drzewa [m]; $h_{spr.crown}$ – wysokość osadzenia korony [m]; $d_{1,3 m}$ – pierśnica [cm]; b) drewno pnia z widocznymi anomaliami: $a_{an.form.}$ – szerokość, oraz $b_{an.form.}$ – wysokość anomalii w budowie drewna [mm]; c) falistość włókien: λ – długość fali [mm]; U – amplituda fali [mm]

Figure 2. Biometric features of common ash: a) tree ($l_{fm.w.}$ – length of wood anomaly, m; h_{tree} – height of tree, m; $h_{spr.crown}$ – spring of crown, m; $d_{1,3 m}$ – diameter at the breast height, cm); b) anomaly-accentuated wood grains of trunk ($a_{an.form.}$ – width and $b_{an.form.}$ – height of anomaly wood formation, mm); c) curly grain (λ – length of wave, mm; U – amplitude of wave, mm)

analizie wariancji zastosowano test t , określający różnicę wartości średnich zmiennej ciągłej. Postawiono hipotezę zerową, że wartości średnich poszczególnych nie różnią się, oraz hipotezę alternatywną, że różnice występują, przy poziomie istotności $p \leq 0,05$; (Janssen, Laatz 2007).

3. Wyniki i dyskusja

Cechy morfologiczne drzew oraz gęstość drewna stanowią najlepsze cechy diagnostyczne jakości drewna (Yatsenko-Khmelewskyy 1954; Zobel et al. 1995; Grześkiewicz 2007; Vintoniv et al. 2007; Hemery et al. 2008; Sopushynskyy 2012). Wpływ na nie mają głównie czynniki genetyczne i środowiskowe (Yatsenko-Khmelewskyy 1954; Zobel et al. 1995). Przykładem

Tabela 2. Cechy biometryczne jesionu wyniosłego: z drewnem falistowłóknistym i prostowłóknistym (wartości w nawiasach)

Table 2. Biometric features of ash with wavy-grained wood and with straight-grained wood (in the brackets)

Numer działki Observation plots	Drzewo Tree model	Wiek [lata] Age [years]	h_{tree} [m]	$d_{1,3m}$ [cm]	$h_{spr.crown}$ [m]	$l_{m.w.}$ [m]	$V_{an.wood}$ [m ³]
1	1	90	31,0 (28,0)	42 (38)	11 (20)	1,8	0,22
	2	92	27,0 (27,0)	42 (32)	12 (19)	0,9	0,09
	3	89	28,0 (27,0)	46 (36)	9 (18)	0,5	0,04
	4	92	28,5 (28,0)	45 (36)	8 (19)	1,0	0,12
	5	90	27,5 (27,0)	44 (36)	10 (17)	1,5	0,19
2	6	85	28,0 (28,0)	38 (32)	14 (18)	0,5	0,03
	7	80	27,0 (27,0)	44 (38)	15 (17)	1,8	0,23
	8	83	29,0 (28,0)	46 (38)	10 (16)	2,1	0,29
3	9	91	32,0 (31,0)	44 (40)	15 (19)	0,5	0,03
	10	90	30,0 (29,5)	42 (38)	14 (18)	0,9	0,09
	11	92	31,0 (30,0)	48 (44)	12 (17)	0,8	0,11

Oznaczenia jak na rycinie 2. / Symbols as in Fig. 2.

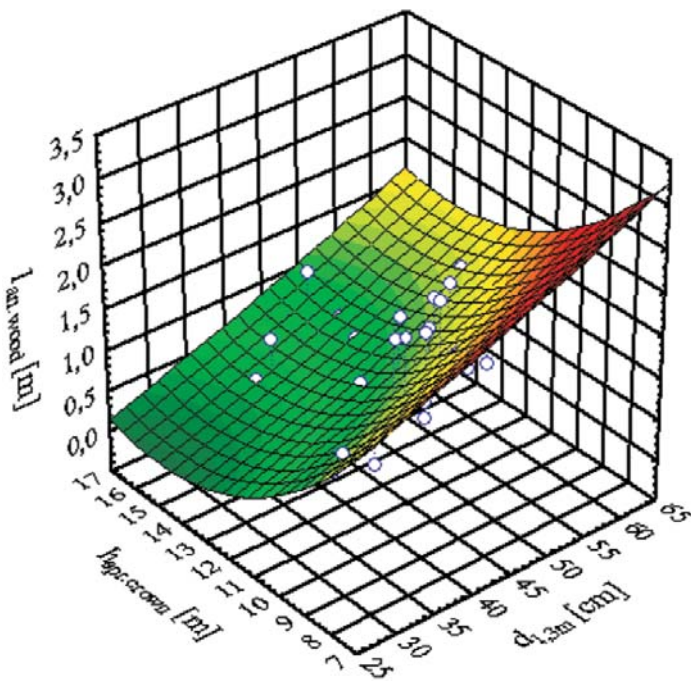
**Rycina 3. Model regresji długości strefy anomalii drewna u jesionu**

Figure 3. Regression model of the length of wavy-grain ash wood zone

zmienności uwarunkowanej genetycznie jest zmienność drewna jesionu prostowłóknistego i falistowłóknistego i biometryczna odmienność takich drzew (tab. 2).

W wieku od 80 do 92 lat drzewa z drewnem z falistością włókien mają pierśnicę większą (o 8–16%) niż drzewa z drewnem prostowłóknistym. Średnia wysokość osadzenia korony w pierwszym przypadku wynosiła 12 m, a długość strefy anomalii drewna ok. 1,1 m. Wysokość drzew nie miała na to znaczącego wpływu.

Studium dendrochronologiczne wykazało, że wytwarzanie drewna o falistym układzie włókien zaczęło się w wieku 11–20 lat. Różnica między wartościami średnimi pierśnicy i wysokości osadzenia korony była istotna statystycznie ($p < 0,05$).

Analiza wieloczynnikowa obejmowała cechy biometryczne jesionu z drewnem falistowłóknistym i wykazała istotną zależność (0,05) między długością strefy anomalii, czyli drewna ozdobnego ($Z = l_{an.wood}$), a wyso-

kością pierwszej żywej gałęzi ($Y=h_{spr.crown}$) i pierśnicą ($X=d_{1,3m}$) (ryc. 3). W wyniku analizy regresji nieliniowej badanych zmiennych otrzymano funkcję:

$$Z = 5,3 + 0,03X - 0,8Y + 1,0E - 4X^2 - 1,4E - 5XY + 0,03Y^2$$

przy $R=0,65$.

Ważną rolę odgrywają cechy estetyczne drewna. Dla konsumentów wykorzystanie w meblach drewna o falistym układzie włókien ma duże znaczenie. Przy określaniu atrakcyjności drewna ważne jest uwzględnienie cech makrostruktury drewna. W przypadku drewna o falistym przebiegu włókien analizie mogą być poddane tekstura i rysunek drewna (tab. 3).

Ocena statystyczna cech drewna wpływających na jego estetykę wskazuje na wysokie zróżnicowanie zmiennych makrostruktury (tab. 2) – współczynnik zmienności zawierał się w przedziale od 23 do 36%. Długość fali (por. ryc. 2) wynosiła od 3,25 do 10,83 mm, a jej amplituda – od 0,37 do 1,74 mm. Przeciętna szerokość i przeciętna wysokość anomalii drewna wynosiły

odpowiednio $15,89 \pm 0,80$ mm i $5,00 \pm 0,18$ mm, a przeciętna liczba anomalii na $0,1 \text{ m}^2 - 30 \pm 1,11$.

Gęstość drewna stanowi podstawowy cel hodowli drzew i główną cechę jakości drewna. Jakość drewna jest wynikiem długiego procesu, podczas którego predyspozycje genetyczne drzewa, wraz z warunkami środowiska, determinują tempo przyrostu drzew, co ma wpływ nie tylko na formowanie się drewna, ale również na jego właściwości fizyczne (Yatsenko-Khmelewskyy 1954; Zobel et al. 1995; Vintoniv et al. 2007; Grześkiewicz 2007; Hemery et al. 2008). W celu zbadania wpływu kierunku przebiegu włókien na gęstość drewna jesionu pospolitego (tab. 4) pogrupowano wszystkie próbki drewna w zależności od kąta odchylenia włókien od osi drzewa: a – falistowłókniste; b – $0-9^\circ$; c – $10-25^\circ$; d – $26-45^\circ$ (Sopushynskyy 2011).

Falistowłókniste drewno jesionu wyniosłego wykazuje większą szerokość przyrostów rocznych (5,1 mm). Wartość ta w przypadku przyrostów rocznych drewna prostowłóknistego jest o 25% mniejsza (tab. 4).

Tabela 3. Charakterystyczne cechy falistowłóknistego drewna jesionu wyniosłego

Table 3. Specific features of wavy-grain wood of common ash

Zmienne Variables	N	min	M±m	max	V, %	P, %
λ [mm]	450	3,25	6,52±0,09	10,83	28,4	1,3
U [mm]	300	0,37	1,06±0,02	1,74	30,6	1,8
$a_{an,form}$ [mm]	52	7,36	15,89±0,80	33,19	36,1	5,0
$b_{an,form}$ [mm]	52	2,25	5,00±0,18	8,26	25,8	3,6
$N_{an,form} / 0,1 \text{ m}^2$	40	15	30±1,11	41	23,3	3,7

N – liczba próbek / number of samples; min – minimum; M±m – średnia i odchylenie standardowe / mean ± standard deviation; max – maximum; V – współczynnik zmienności / variation coefficient; P – stopień dokładności / accuracy figure

Tabela 4. Szerokość przyrostu rocznego i gęstość drewna jesionu wyniosłego

Table 4. Annual growth ring width and wood density of common ash

Zmienna Variables	Odchylenie włókien od osi drzewa Slope of wood grain	N	min	M±m	max	V, %	P, %
$S_{tree\ rings}$ [mm]	falistowłókniste / wavy-grain	49	3,5	5,1±0,17	8,2	23,2	3,3
	0–9°	36	2,8	3,8±0,11	5,1	17,9	3,0
	10–25°	14	2,9	3,9±0,10	4,3	9,2	2,5
	26–45°	21	3,0	3,8±0,11	4,8	13,2	2,9
ρ_b [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	falistowłókniste / wavy-grain	49	555	581±5,03	635	6,1	0,9
	0–9°	71	457	511±4,29	575	7,1	0,8
	10–25°	14	477	550±7,36	583	5,0	1,3
	26–45°	21	545	567±5,20	585	4,2	0,9
ρ_0 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	falistowłókniste / wavy-grain	49	634	675±3,18	745	3,3	0,5
	0–9°	107	525	593±3,43	671	6,0	0,6
	10–25°	28	557	640±5,68	675	4,7	0,9
	26–45°	42	635	659±1,57	681	1,5	0,2

ρ_b – gęstość względna drewna (stosunek masy drewna suchego do objętości drewna świeżego)
basic wood density (oven dry weight of wood / green volume of wood)

ρ_0 – gęstość drewna suchego (stosunek masy do objętości drewna suchego)
the density of over-dry wood (oven dry weight of wood / oven dry volume of wood)

Współczynnik zmienności gęstości drewna wynosi od 0,9 do 7,1% i również wskazuje na statystyczną istotność wyników badań. Jak pokazano w tabeli 4, gęstość drewna jesionowego rośnie wraz ze wzrostem nachylenia włókien drewna. Dlatego też najmniejszą gęstość względną ($511 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) ma drewno o nachyleniu włókien $0\text{--}9^\circ$. Gęstość drewna falistowłóknistego po wysuszeniu jest większa niż drewna prostowłóknistego o $82 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, a przed wysuszeniem o $70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Wyniki badań pokazują, że nachylenie włókien ma silny wpływ na gęstość drewna jesionu wyniosłego. Szerokość przyrostu rocznego i gęstość drewna o falistym układzie włókien i drewna prostowłóknistego różniły się ewidentnie i statystycznie istotnie ($p < 0,05$).

Wymienione wyżej charakterystyczne cechy diagnostyczne falistowłóknistego drewna jesionowego zajmują ważne miejsce we wczesnym rozpoznaniu oraz hodowli i pielęgnacji jesionu. Przypuszczalnie można dyskutować o genetycznym dziedziczeniu tej cechy. Drzewa jesionu z drewnem falistowłóknistym zasługują na szczególną uwagę w kontekście ich selekcji i uprawy plantacyjnej. Warunkiem wstępnym udanej uprawy i ochrony osobników z falistością włókien jest zbadanie natury jego pochodzenia oraz rozwój i monitoring rosnących drzew i lasów.

4. Podsumowanie

Drzewostany jesionowe rosnące na siedlisku lasu świeżego w obwodzie winnickim i czerniowieckim (rejon sokiriański) na Ukrainie stanowią duży zasób drzew o drewnie z falistym układem włókien. Analiza dendrochronologiczna wykazała, że falistowłókniste drewno jesionu zaczyna być wytwarzane około 11–20 roku życia drzewa. Cechy biometryczne, jak pierśnica i wysokość osadzenia korony drzew z drewnem falistowłóknistym i z drewnem prostowłóknistym różnią się znacząco.

Ocena statystyczna estetycznych cech makrostruktury drewna wskazuje, że długość fali waha się od 3,25 do 10,83 mm, a jej amplituda – od 0,37 do 1,74 mm. Przeciętna szerokość anomalii drewna wynosi 15,89 mm, a wysokość – 5,00 mm, natomiast liczba anomalii na $0,1 \text{ m}^2$ wynosi przeciętnie 30. Przeciętna szerokość słoja przyrostu rocznego drewna o falistym układzie włókien jest o 25% większa niż w przypadku drewna prostowłóknistego. Zależności między długością drewna ozdobnego ($Z = \text{lan.wood}$), wysokością pierwszej żywej gałęzi ($Y = h_{\text{spr.,crown}}$) i pierśnicą ($X = d_{1,3\text{m}}$) opisano nieliniową funkcją regresji:

$$Z = 5,3 + 0,03X - 0,8Y + 1,0E - 4X^2 - 1,4E - 5XY + 0,03Y^2$$

przy $R = 0,65$.

Gęstość drewna falistowłóknistego jest większa niż drewna prostowłóknistego o $82 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ w przypadku drewna suchego oraz o $70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ przed wysuszeniem. Wyniki badań pokazują, że nachylenie włókien drewna ma duży wpływ na gęstość drewna jesionu wyniosłego. Różnice w zmienności średnich wartości szerokości przyrostu rocznego i gęstości drewna pomiędzy drewnem o falistym układzie włókien i drewnem prostowłóknistym były ewidentne i istotne ($p < 0,05$). Identyfikacja i produkcja wysoce dekoracyjnego drewna jest jednym z ważnych ekonomicznie i strategicznie kierunków trwałego leśnictwa i przerobu drewna. Jesion wyniosły z drewnem z falistością włókien jest wartościowym surowcem ozdobnym do produkcji okleiny.

Literatura

- Bauch J. 1980. Variation der Holzstruktur aufgrund sekundärer Veränderungen. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH, Hamburg), 131, S. 87-97.
- Beals H.O., Davis T.C. 1977. Figure in Wood. An Illustrated Review. Alabama Agricultural Experiment Station, Bulletin 486, pp: 79.
- Bucur V. 2006. Acoustics of Wood. Berlin – Heideberg, Springer Verlag, pp: 393. ISBN 9783540261230.
- Chovanec D. 1986. Identificacne znaky yesene s vlnistym lescom dreva. *Lesnický Časopis*, 32: 389–396. Chovanec D. 1986. Identifikačné znaky jaseňa s vlnitým leskom dreva. *Lesnický Časopis*, 32, 5: 389-396
- Ewald D., Schneck V., Liesebach H. 2006. Riegelhorn – Vermehrung und Anbauversuch, w: Forstliche Genressourcen als Produktionsfaktor: Tagungsband 26: 131–132.
- Furnier Magazin. 2008, 2009. Supplement von Holz-Zentralblatt and HK, DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co KG, Leinfelden Echterdingen.
- Gottwald H. 1989. Eschen rund um die Welt. *Holz Aktuell*, 7: 24–34.
- Grzeškiewicz M. (ed.) 2007. COST Action E53: Quality Control for Wood and Wood Products.. Warsaw University of Life Sciences, Faculty of Wood Technology, pp: 178. ISBN 978-83-7244-904-7.
- Harris J.M. 1989. Spiral Grain and Wave Phenomena in Wood Formation. Berlin, Springer-Verlag, 214 s.
- Hemery G., Spiecker H., Aldinger E., Kerr G., Collet C. and Bell S. 2007. COST E 53. Quality Control for Wood and Wood Products. The First Conference. Warsaw University of Life Sciences, Faculty of Wood Technology: 1–173 s.
- Janssen J., Laatz W. 2007. Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows : eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 817 pp.
- Jozsa L.A., Middleton G.R. 1995. A discussion of wood quality attributes and their practical implications. Special Publication No. SP-34, Vancouver, BC Forintek Canada Corp.

- Laminat Magazin. 2008, 2009. Supplement von Holz-Zentralblatt and HK, DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co KG, Leinfelden Echterdingen.
- Larson P.R. 1964. Some indirect effects of environment on wood formation, w: The formation of wood in forest trees. New York, Academic Press, : 345–365.
- Mayevskyy V., Maksymiv V., Sopushynskyy I., Teischinger A. 2008. The effect of a sawing angle on wood texture. *Folia Forestalia Polonica. Series B*, 39: 45–54.
- Normen fiberr Holz. 2009. DIN-Taschenbuch 31. Berlin, Beuth Verlag GmbH, 604 s. ISBN 978-3-410-17448-6.
- Pliúra A., Heuertz M. 2003. Common ash (*Fraxinus excelsior* L.): Technical guidelines for genetic conservation and use. Rome, EUFORGEN, 6 s.
- Rioux D., Yamada T., Simard M., Lessard, G., Rheault, F.J., Bluin, D. 2003. Contribution to the fine anatomy and histochemistry of birdseye sugar maple. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(5): 946–958.
- Schmidt O., Koebel 2002. Beiträge zur Esche. Freising, *Berichte aus Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft*, 94 s.
- Sopushynskyy I., Vintoniv I., Teischinger A., Mayevskyy V. 2006. Selection of maple “birdseye” (*Acer pseudoplatanus* L.) in the Ukrainian Carpathian Mountains, w: Wood Structure and Properties’06. Zvolen, Arbora Publishers: 139–142.
- Sopushynskyy I.M. 2011. Methodological aspects in the structure formation of decorative wood. *Scientific Magazine, Scientific Technical Collection* (Lviv, UNFU), 21, 10: 41–46.
- Sopushynskyy I.M. 2012. Classification and grading of decorative wood quality: sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.), beech (*Fagus sylvatica* L.) and ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Scientific Magazine, Scientific Technical Collection* (Lviv, UNFU), 22, 2: 106–111.
- Surface Magazin. 2008, 2009, 2010. Supplement von Holz-Zentralblatt and HK, DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co KG, Leinfelden Echterdingen.
- Vintoniv I., Sopushynskyy I., Teischinger A. 2007. Derevinoznavstvo [Wood Science]. Navčal’nij posibnik, Lviv, Apriori, 312 s. ISBN 966-8256-69-7.
- Wobst J., Oliver-Villanueva J.V., Doebel R. 1994. Variabilität der Faserneigung im Holz der Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franko). *Holz als Roh- und Werkstoff*, 52: 342–346.
- Yatsenko-Khmelewskyy A.A. 1954. Osnovy i metody anatomskegogo isledovanija drevesiny. Moskva, Institut lesa (Akademija nauk SSSR), 337 s.
- Zobel B. J., Jackson B.J. 1995. The Genetics of Wood Production. Springer-Verlag, 363 s. ISBN 9783540588412.

Diagnostic features of *Fraxinus excelsior* L. with wavy-grained wood growing in Ukraine

Ivan Sopushynskyy¹✉, Alfred Teischinger²

¹Ukrainian National Forestry University, Department of Botany, Wood Science and Non-Wood Forest Products, Tchuprynkast., 103, 79057 Lviv, Ukraine;

²University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Institute of Wood Science and Technology, Konrad-Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln an der Donau, Austria.

✉ Tel. +380 97 4592870, fax +380 32 2378905, e-mail: sopushynskyy@yahoo.com

Abstract. The paper presents analysis of biometric features of ash with wavy-grained wood, which has decorative appeal. The research results shows that fresh broadleaves ash forest stands growing in the Vinnytsya and Sokyryany Regions of Ukraine have high potential for growing curly ash. The differences between straight-grained and wavy-grained wood density and macrostructure were analysed and estimated. Statistical evaluation of the aesthetic macrostructure of wood characteristics indicated that the length of wave varied from 3,25 to 10,83 mm and its amplitude varied from 0,37 to 1,74 mm. The average width and mean height of anomalies in wood formation were equal to 15,89 mm and 5,00 mm, and their mean occurrence was 30 times m⁻². Average annual growth ring width of wavy-grained ash wood was clearly greater (by 25%) than that of straight-grained wood. The density of wavy-grained wood was 82 kg·m⁻³ higher than straight-grained wood after oven-drying and 70 kg·m⁻³ higher prior to oven-drying.

Key words: common ash, wavy-grained wood, biometry, decorative wood, anomaly wood, forest stands

1. Introduction

Common ash is one of the important hardwood trees species in Ukraine and across Europe. At the age of 100 years they are 30 m height and have 60–70 cm in diameter. Their wood texture supplies the simply decorative wood (Gottwald 1989; Schmidt 2002; COST E42 2008; Sopushynskyy 2011). One of the inter specific variability of ash is characterised by special wood anomalies like wave-grain (Fig. 1).

The wavy-grained wood of common ash is characterised by valuable decorative features. Such figures in a wood have been defined as unusual grain or abnormal grain pattern that adds value to solid wood products by aesthetic characteristics (Beals et al. 1977; Bauch 1980; Harris 1989; Bucur 2006; Sopushynskyy et al. 2006). The wave-grained wood of ash displays

fine textures which have quite a high decorative value (Chovanec 1986; Gottwald 1989; Wobst 1994; Sopushynskyy 2011).

The quality of decorative wood can be reflected by its utility and therefore is defined by the consumers. Wood quality criteria can only be applied for the specific purpose for which it is used (Harris 1989; Grzeškiewicz 2007; Hemery et al. 2008). The main wood characteristics that define the timber quality classes of ash according to the current European norms (Normen über Holz 2009) include average diameter, knots, wood growth, colour, sweep of the wood etc. but do not include the decorative wood characteristics: width and height of anomaly wood formation, its number etc. Thereby, the decorative value of ash wood is important in the context of its classification by quantifiable or explicable charac-



Figure 1. The wavy-grained wood of common ash growing in Ukraine

teristics (Yatsenko-Khmelevskyy 1954; Rioux et al. 2003; Vintoniv et al. 2007; Sopushynskyy 2006, 2012).

The diversification of customers' demands for specific aesthetic wood properties leads to a gain of sawed or cut wood surfaces which supply the fine or decorative appearance of wood products (Mayevskyy et al. 2008). Insufficient knowledge and poor understanding of the high value of broadleaved species with high-quality decorative wood (due to wave-grained wood of ash) leads to a lack of willingness of cultivating these species and also to inconsistent supply of timber with high-value decorative wood. On the other hand there is evidence that the final consumers are ready to pay a higher price for personalised and customised products e.g. furniture, interior design, floors with highly decorative wood surfaces (Furnier Magazin 2008, 2009; Surface Magazin 2008, 2009, 2010; Laminate Magazin 2008, 2009).

The aims of the present study are to assess the biometric and wood macrostructure characteristics of ash trees with wave-grained wood and to determine the distinctions of wood density between straight-grained and wave-grained wood. Also this paper provides a framework for a future research in the subject area of the diagnostic model development of ash trees with wave-grained wood. Furthermore, it provides information for the conservation of ash with high decorative wood.

2. Materials and methods

The study was conducted in the fresh broadleaved ash forest stands growing in the Vinnytsya and Sokyryany regions of Ukraine. Silvicultural and dendrometrical characteristics of broadleaved forest stands were collected on three observation plots (OP) of field studies

with focus on acquiring and in-depth understanding of ash with wavy-grained wood as well as its silvicultural potential (Table 1).

Altogether, 11 models of ash trees with wavy-grained wood and 11 models of ash trees with straight-grained wood were studied for their biometric and morphological features as well as wood density. The biometric characteristics were collected from the fell model trees. To systematize knowledge about differences in morphological characteristics of curly ash specific features have been used (Fig. 2).

The morphological characteristics of a wood surface and an annual ring width were measured by software AutoCAD 8.0 on the digital photos. The wood density was determined at breast height. The discs were cut into three segments: juvenile wood where heartwood formation may be initiated (years rings 5–20 from the pith), transition heartwood (approximately 10–40 years rings), and sapwood (years rings 20–60 from the bark). The green volume of the segments was measured by water displacement method. By using the oven drying method the oven-dry mass was measured after 24 h at $103 \pm 2^\circ\text{C}$. The initial weighing of each sample was made as soon as possible after it had been cut and the measurement was made to the nearest 0,001 g on a precision balance. Errors, due to unavoidable delay before weighing, were minimised by placing the sample in polythene bags immediately after cut. Basic wood density was calculated as the ratio of the weight of the oven-dry wood and the volume of green wood; the density of oven-dry wood was calculated as the ratio of the weight and the volume of the oven-dry wood. (Vintoniv et al. 2007).

The statistical analyses was based on procedure SPSS 13.0 – One-Way ANOVA (Analysis of Variance) to produce a one-way analysis of variance for a quanti-

Table 1. Forest and estimated features of observation plots of ash stands

Observation plots	Latitude & altitude	Tree species composition*	Age years	Stand quality index / stand density index	H [m]	D [cm]	M [m ³]
1	48°27'28"N 27°20'56"E 290 m	8Js2Dbs	90	II / 0,70	28	36	330
2	49°06'01"N 28°40'16"E 287 m	4Js5Gb11Jw+Lp+Kl	82	I / 0,70	28	36	307
3	49°06'30"N 28°39'15"E 295 m	4Js5Gb1Jw+Dbs+Lp	91	I ^a / 0,90	32	46	400

* Js – *Fraxinus excelsior* L.; Dbs – *Quercus robur* L.; Gb – *Carpinus betulus* L.; Jw – *Acer pseudoplatanus* L.; Lp – *Tilia cordata* Mill.; Kl – *Acer platanoides* L.; + – <5% / defined as <5%, H – average tree height, D – average tree diameter, M – timber volume per hectare

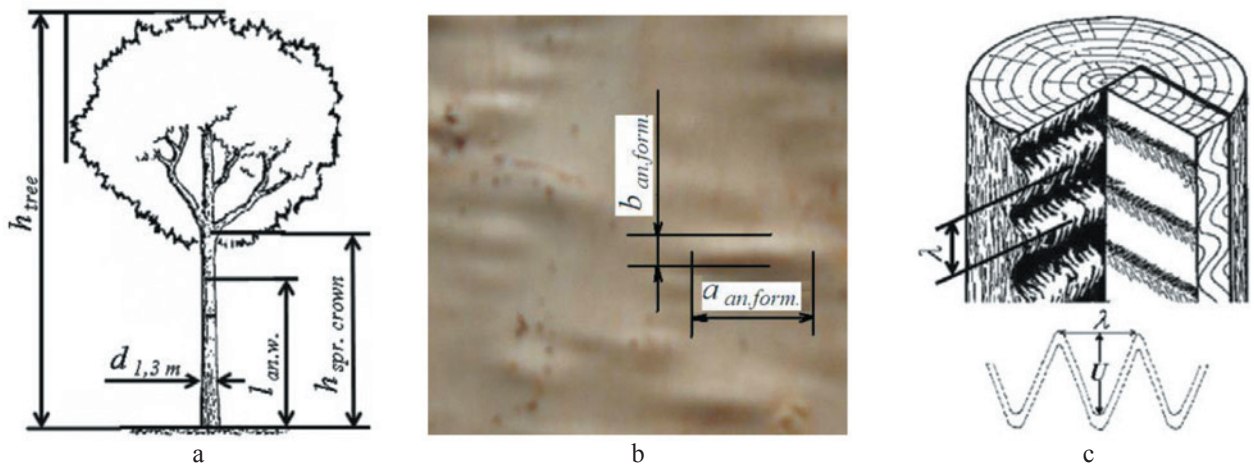


Figure 2. Biometric features of common ash: a) tree (l_{wood} – length of wood anomaly, m; h_{tree} – height of tree, m; $h_{spr.crown}$ – spring of crown, m; $d_{1.3m}$ – diameter at the breast height, cm); b) anomalously-accentuated wood grains of trunk ($a_{an.form}$ – width and $b_{an.form}$ – height of anomaly wood formation, mm); c) curly grain (λ – length of wave, mm; U – amplitude of wave, mm)

tative dependent variable by a single factor (independent) variable. T -test was applied for the analysis of variance which analyses the difference in means of a continuous variable between two groups. Null hypothesis has no difference in the mean values and the alternative hypothesis has a difference in the mean values (significant at $p \leq 0,05$) (Janssen, Laatz 2007).

3. Results and discussion

Morphological characteristics of trees and the wood density are the best diagnostic features of timber and wood quality (Yatsenko-Khmelevskyy 1954; Zobelet et al. 1995; Grzešekiewicz 2007; Vintoniv et

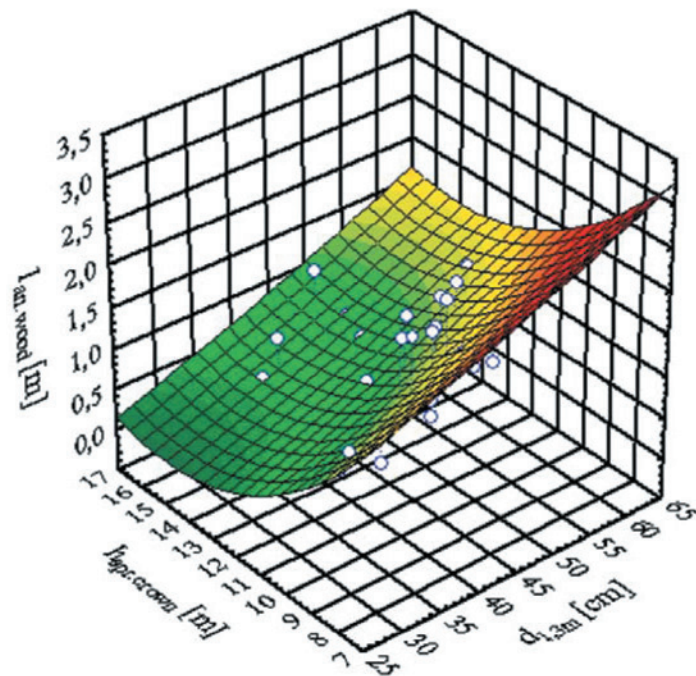
al. 2007; Hemery et al. 2008; Sopushynskyy 2012). They are mainly influenced by genetic and environmental factors (Yatsenko-Khmelevskyy 1954; Zobel et al. 1995). The genetics of hereditary variation of ash is well characterised by straight-grained and wavy-grained wood, and reflected by biometric distinctions of trees (Table 2).

Morphological distinctions of wavy-grained ash wood of the age range from 80 to 92 years are characterised by 8–16% bigger diameters at the breast height for ash trees with straight-grained wood. The spring of crown of curly ash started at the average height of 12 m and the length of anomaly wood is in range around 1,1 m. There are no significant changes

Table 2. Biometric features of curly ash with wavy-grained wood with straight-grained wood (in the brackets)

Observation plots	Tree model	Age [years]	h_{tree} [m]	$d_{1,3m}$ [cm]	$h_{spr.crown}$ [m]	$l_{m.w.}$ [m]	$V_{an.wood}$ [m ³]
1	1	90	31,0 (28,0)	42 (38)	11 (20)	1,8	0,22
	2	92	27,0 (27,0)	42 (32)	12 (19)	0,9	0,09
	3	89	28,0 (27,0)	46 (36)	9 (18)	0,5	0,04
	4	92	28,5 (28,0)	45 (36)	8 (19)	1,0	0,12
	5	90	27,5 (27,0)	44 (36)	10 (17)	1,5	0,19
2	6	85	28,0 (28,0)	38 (32)	14 (18)	0,5	0,03
	7	80	27,0 (27,0)	44 (38)	15 (17)	1,8	0,23
	8	83	29,0 (28,0)	46 (38)	10 (16)	2,1	0,29
3	9	91	32,0 (31,0)	44 (40)	15 (19)	0,5	0,03
	10	90	30,0 (29,5)	42 (38)	14 (18)	0,9	0,09
	11	92	31,0 (30,0)	48 (44)	12 (17)	0,8	0,11

Symbols as in Fig. 2.

**Figure 3.** Regression model of the length of wavy-grain ash wood zone

in the study results for trees in different height. The dendrochronologic study revealed that wavy-grained wood ash started to produce in the age range of 11–20 years old. The differences in variability of mean values of the diameter at the breast height and the spring of crown were evident or significant ($p < 0,05$).

The multivariate analysis encompassed the biometric features of curly cCommon ash and showed the significant relationships (0,05) among the length of decorative wood ($Z=l_{an.wood}$), the height to the first living branch ($Y=h_{spr.crown}$) and the diameter at breast height ($X=d_{1,3m}$) (Fig. 3). The non-linear regression analyses of

researched variables gave the function:

$$Z = 5,3 + 0,03X - 0,8Y + 1,0E - 4X^2 - 1,4E - 5XY + 0,03Y^2$$

by multiple $R = 0,65$.

Aesthetic features of wood play an important role due to their volumetric and fashionable patters. Wave-grained wood appearance in furniture is very important for the customers who are buying it. For measuring the wood attractiveness it is very important to use quantifiable or explicable characteristics of wood macrostructure. The wave-grained wood formations of common ash are evaluated by analysing the texture and figure of the wood surface (Table 3).

Statistic evaluation of the aesthetic macrostructure wood characters indicates the high variation of macro structural variables (Table 2). Thus, the coefficient of variation is in the range of 23 to 36%. Thereby, the length of wave varies from 3,25 to 10,83 mm and its amplitude – from 0,37 to 1,74 mm. The average width and average height of anomaly wood formation are equal $15,89 \pm 0,80$ mm and $5,00 \pm 0,18$ mm as well as their average number on $0,1 \text{ m}^2$ of $30 \pm 1,11$.

Wood density forms an integral component of tree breeding programs and the main characteristics of wood quality. Since the quality of wood is the result of a long process where genetic dispositions of the tree interact

Table 3. Specific features of wave-grain wood of common ash

Variables	<i>N</i>	min	<i>M</i> ± <i>m</i>	max	<i>V</i> , %	<i>P</i> , %
λ [mm]	450	3,25	6,52±0,09	10,83	28,4	1,3
<i>U</i> [mm]	300	0,37	1,06±0,02	1,74	30,6	1,8
$a_{an.form.}$ [mm]	52	7,36	15,89±0,80	33,19	36,1	5,0
$b_{an.form.}$ [mm]	52	2,25	5,00±0,18	8,26	25,8	3,6
$N_{an.form.} / 0,1 \text{ m}^2$	40	15	30±1,11	41	23,3	3,7

N – number of samples; *min* – minimum; *M*±*m* – mean ± standard deviation; *max* – maximum; *V* – coefficient of variation; *P* – accuracy figure

Table 4. Annual ring width and wood density of common ash

Variables	Slope of wood grain	<i>N</i>	<i>min</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>max</i>	<i>V</i> , %	<i>P</i> , %
$S_{tree\ rings}$ [mm]	wavy-grain	49	3,5	5,1±0,17	8,2	23,2	3,3
	0–9°	36	2,8	3,8±0,11	5,1	17,9	3,0
	10–25°	14	2,9	3,9±0,10	4,3	9,2	2,5
	26–45°	21	3,0	3,8±0,11	4,8	13,2	2,9
ρ_6 [kg·m ⁻³]	wavy-grain	49	555	581±5,03	635	6,1	0,9
	0–9°	71	457	511±4,29	575	7,1	0,8
	10–25°	14	477	550±7,36	583	5,0	1,3
	26–45°	21	545	567±5,20	585	4,2	0,9
ρ_0 [kg·m ⁻³]	wavy-grain	49	634	675±3,18	745	3,3	0,5
	0–9°	107	525	593±3,43	671	6,0	0,6
	10–25°	28	557	640±5,68	675	4,7	0,9
	26–45°	42	635	659±1,57	681	1,5	0,2

ρ_6 – basic wood density (oven dry weight of wood / green volume of wood)

ρ_0 – the density of oven-dry wood (oven dry weight of wood / oven dry volume of wood)

with environmental requirements, the tree growth rate affects not only the formation of wood but also its physical properties (Yatsenko-Khmelevskyy 1954; Zobel et al. 1995; Vintoniv et al. 2007; Grzeškiewicz 2007; Hemery et al. 2008). To study the influence of wood fiber orientation on wood density of common ash (Table 4) all wood specimens were grouped depend on the slope of wood fibers: a – wave-grained; b – 0°–9°; c – 10°–25°; d – 26°–45° (Sopushynskyy 2011).

The wave-grained wood of Common ash is showing the greater annual rings width (5,1 mm). Assuming the value obtained for wave-grained wood is 100% then the comparison to the value obtained for straight-grained wood indicates clearly that this macrostructure has a lower average annual ring width of 25% (Table 4).

Coefficients of variation of wood density are ranged from 0,9 to 7,1% and also they indicate the statistical significance of the research results. As it was shown in the Table 4, the wood density of ash increases with the rise of the slope of wood fibers. Thus, the average basic wood density with slope of wood fibers 0–9° appears to be the lowest (511 kg·m⁻³). The density of wavy-grained wood is more than straight-grained wood on 82 kg·m⁻³ in the oven-dry condition and on 70 kg·m⁻³ in the basic condition. The research results show that the slope of wood fiber has a strong effect on wood density of common ash. The differences in variability of mean values of the annual ring width and wood density between wave-grained and straight-grained wood were evident and significant ($p < 0,05$).

Above mentioned specific diagnostic features of wave-grained ash wood take an important place in the young diagnose and breeding of ash trees as well as care for them. Hypothetically, one could argue about the genetic inheritance of this trait. Ash trees with wavy-grained wood deserve special attention in the context of their selection and plantation cultivation. A prerequisite for successful cultivation and conservation of Common ash with wave-grained wood is the study of the nature of its origin, development and monitoring growing trees and woodlands.

4. Conclusions

The results showed that the fresh broadleaves ash forest stands growing in Vinnytsya and Sokyryany regions of Ukraine are characterised by high forest potential on the ash trees with wave-grained wood. The dendrochronologic analysis revealed that wavy-grained wood ash starts being produced at the age around 11–20 years old. The biometric characteristics such as diameter

at the breast height and spring of crown between ash trees with wavy-grained and ash trees with straight-grained wood differ significantly.

Statistic evaluation of the aesthetic macrostructure wood characters indicates that the length of wave varies from 3,25 to 10,83 mm and its amplitude – from 0,37 to 1,74 mm. The average width and average height of anomaly wood formation was equal 15,89 mm and 5,00 mm as well as their average number in 0,1 m² was 30. Average annual ring width of wave-grained ash wood was clearly greater by 25% than in straight-grained wood. The relationships among the length of decorative wood ($Z = l_{an.wood}$), the height to the first living branch ($Y = h_{spr.crown}$) and the diameter at breast height ($X = d_{1,3m}$) described by the non-linear regression function $Z = 5,3 + 0,03X - 0,8Y + 1,0E - 4X^2 - 1,4E - 5XY + 0,03Y^2$ by multiple $R = 0,65$.

The density parameter of wavy-grained wood is bigger than in straight-grained wood by 82 kg·m⁻³ in the oven-dry condition and by 70 kg·m⁻³ in the basic condition. The research results show that the slope of wood fiber has a strong effect on wood density of common ash. The differences in variability of mean values of the annual ring width and wood density between wave-grained and straight-grained wood were evident and significant ($p < 0,05$). The identification and production of high decorative timber is one of the important economic and strategic directions for the sustainable forestry and wood processing. Common ash with wavy-grained wood is valuable decorative material for veneer production.

References

- Bauch J. 1980. Variation der Holz struktur aufgrund sekundärer Veränderungen. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH, Hamburg), 131, S. 87–97.
- Beals H.O., Davis T.C. 1977. Figure in Wood. An Illustrated Review. Alabama Agricultural Experiment Station, Bulletin 486, pp. 79.
- Bucur V. 2006. Acoustics of Wood. Springer Verlag, pp. 393. ISBN 9783540261230.
- Chovanec D. 1986. Identificacne znaky yesene s vlnistym lescon dreva. *Lesnický Casopis*, 32: 389–396.
- Ewald D., Schneck V., Liesebach H. 2006. Riegelahorn – Vermehrung und Anbauversuch. In: Forstliche Genressourcen als Produktionsfaktor: Tagungsband 26: 131–132.
- Furnier Magazin. 2008, 2009. Supplement von Holz-Zentralblatt and HK, DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co KG, Leinfelden Echterdingen.

- Gottwald H. 1989. Eschenrund um die Welt. *Holz Aktuell*, 7: 24–34.
- Grzeškiewicz M. (ed.) 2007. COST Action E53: Quality Control for Wood and Wood Products. Warsaw University of Life Sciences, Faculty of Wood Technology, pp: 178. ISBN 978-83-7244-904-7.
- Harris J.M. 1989. Spiral Grain and Wave Phenomena in Wood Formation. Springer-Verlag, 214 p.
- Hemery G., Spiecker H., Aldinger E., Kerr G., Collet C. and Bell S. 2007. COST E 53. Quality Control for Wood and Wood Products. The First Conference. Warsaw University of Life Sciences, Faculty of Wood Technology: 1–173 p.
- Janssen J., Laatz W. 2007. Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows: ein anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 817 pp.
- Jozsa L.A., Middleton G.R. 1995. A discussion of wood quality attributes and their practical implications. Special Publication No. SP-34, Forintek Canada Corp., Vancouver, BC
- Laminat Magazin. 2008, 2009. Supplement von Holz-Zentralblatt and HK, DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co KG, Leinfelden Echterdingen.
- Larson P.R. 1964. Some indirect effects of environment on wood formation. In: The formation of wood in forest trees. Acad. Press, New York: 345–365.
- Mayevskyy V., Maksymiv V., Sopushynskyy I., Teischinger A. 2008. The effect of a sawing angle on wood texture. *Folia Forestalia Polonica. Series B*, 39: 45–54.
- Normen fiberr Holtz. 2009. DIN-Taschenbuch 31. Berlin: BeuthVerlag GmbH, 604 p.
- Pliūra A., Heuertz M. Common ash (*Fraxinus excelsior* L.): Technical guidelines for genetic conservation and use. Rome: EUFORGEN, 6 p.
- Rioux D., Yamada T., Simard M., Lessard, G., Rheault, F.J., Bluin, D. 2003. Contribution to the fine anatomy and histochemistry of birdseye sugar maple. *Canadian Journal of Forest Research*, 33 (5): 946–958.
- Schmidt O. 2002. Beiträge zur Esche. *Baeryrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft*, 94 p.
- Sopushynskyy I., Vintoniv I., Teischinger A., Mayevskyy V. 2006. Selection of maple “birdseye” (*Acer pseudoplatanus* L.) in Ukrainian Carpathian Mountains. In: Wood Structure and Properties’06. Zvolen, Arbora Publishers: 139–142.
- Sopushynskyy I.M. 2011. Methodological aspects in the structure formation of decorative wood. *Scientific Magazine, Scientific Technical Collection* (Lviv, UNFU), 21, 10: 41–46.
- Sopushynskyy I.M. 2012. Classification and grading of decorative wood quality: sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.), beech (*Fagus sylvatica* L.) and ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Scientific Magazine, Scientific Technical Collection* (Lviv, UNFU), 22, 2: 106–111.
- Surface Magazin. 2008, 2009, 2010. Supplement von Holz-Zentralblatt and HK, DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co KG, Leinfelden Echterdingen.
- Vintoniv I., Sopushynskyy I., Teischinger A. 2007. Derevinoznavstvo [Wood Science]. Navčal’nij posibnik, Lviv, Apriori, 312 p. ISBN 966-8256-69-7.
- Wobst J., Oliver-Villanueva J.V., Doebel R. 1994. Variabilität der Faserneigung im Holz der Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und Douglasie (*Pseudotsugamenziesii* (Mirb.) Franko). *Holz als Roh- und Werkstoff*, 52: 342–346.
- Yatsenko-Khmelevskyy A.A. 1954. Osnovy i metody anatomskegogo isledovanija drevesiny. Moskva, Institutlesa (Akademija nauk SSSR), 337 p.
- Zobel B. J., Jackson B.J. 1995. The Genetics of Wood Production. Springer-Verlag, 363 p. ISBN 9783540588412.

Translated by: Adam Kaliszewski