

Zmienność szyszek jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) – zmienność parametrów zewnętrznych szyszek

Variability of silver fir (*Abies alba* Mill.) cones – variability of cone parameters

Monika Aniszewska*, Urszula Błuszkowska

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych,
ul. Nowoursynowska 164, 02-776 Warszawa

*Tel. +48 22 5934520, e-mail: monika_aniszewska@sggw.pl

Abstract. This study aimed at determining the shape of closed silver fir cones from the Jawor Forest District (Wrocław), based purely on measurements of their length and thickness. Using these two parameters, the most accurate estimations were achieved with a fourth-degree polynomial fitting function. We then calculated the cones' surface area and volume in three different ways: 1) Using the fourth-degree polynomial shape estimation, 2) Introducing indicators of compliance (k_1 , k_2 , k_3) to calculate the volume and then comparing it to its actual value as measured in a pitcher filled with water, 3) Comparing the surface area of the cones as calculated with the polynomial function to the value obtained from ratios of indicators of compliance (ratios k_4 and k_5). We found that the calculated surface area and volume were substantially higher than the corresponding measured values. Test values of cone volume and surface area as calculated by our model were 8% and 5% lower, respectively, compared to direct measurements. We also determined the fir cones apparent density to be $0.8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ on average. The gathered data on cone surface area, volume and bulk density is a valuable tool for optimizing the thermal peeling process in mill cabinets to acquire high quality seeds.

Keywords: cone, scales, area, volume, shape

1. Wstęp

Jodła pospolita (*Abies alba* Mill.) rośnie w południowej i środkowej Polsce, osiągając północną granicę zasięgu. Gatunek ten najliczniej występuje w Karpatach na wysokości 500–1100 m n.p.m., w Sudetach, Górach Świętokrzyskich i na Roztoczu (Gunia, Kowalski 1968; Wilczkiewicz 1976; Gunia 1986; Sabor et al. 1999; Barzdajn 2009; Bednarek 2002; Sugiery 2005; Szeligowski et al. 2011; Bis, Dobrowolska 2012).

Jodła pospolita zaczyna obradzać w wieku około siedemdziesięciu lat, gdy rośnie w zwarcu, a około trzydziestego roku życia, gdy wzrasta na otwartej przestrzeni (Załęski 1995). Gatunek ten obradza co 3–4 lata. Dojrzałe szyszki jodły pospolitej mają barwę szarobrazową, długość od 10 do 17 cm a grubość od 3 do 5 cm (Tyszkiewicz 1949; Boratyński 1983; Suszka 1983; Schütt 1991; Tracz, Barzdajn 2007; Jaworski, Paluch 2007). O parametrach szyszek i nasion jodły pochodzących z innych regionów pisali: Gudeski (1966), Kočiová (1974), Nanu (1977) czy Ballian i Čabaravdić (2005). Szyszki jodły rosną pionowo na gałęzi, a po dojrzeniu rozpadają się na łuski i nasiona, które opadają na ziemię, oraz trzpień pozostający na drzewie.

Zbierane są ręcznie przed całkowitym ich dojrzaniem z drzew stojących. Pozyskanie nasion jodły z szyszek nie wymaga stosowania wysokich temperatur i specjalistycznych urządzeń łuszcarskich, jak w przypadku świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) H. Karst), sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) czy modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.). Według instrukcji gromadzenia i przechowywania zasobów genowych (Leśny Bank Genów Kostrzyca 2007) szyszki jodły umieszcza się w skrzyniach z perforowanym dnem w wentylowanej hali, w której panuje temperatura 20°C . Szyszki przegarniane podczas składowania wysychają oraz częściowo się rozsypują na łuski, nasiona i trzpień. Ostatecznie materiał podlega rozkruszeniu, a następnie oddzieleniu w bębnowym odsiewaczu nasion. Sam proces łuszczenia szyszek jodły można zmechanizować, jednak do tego, poza znajomością warunków temperaturowych, potrzebna jest znajomość budowy szyszek.

W nielicznych publikacjach dotyczących jodły autorzy opisywali parametry zewnętrzne szyszek, łusek oraz masę nasion czy skrzydełek i ich wzajemne zależności (Politi et al. 2011; Jaworski, Paluch 2007; Illoul-Hachi et al. 2015), a także wpływ środowiska na populację czy hybrydy (Ko-

Wpłynęło: 21.11.2015 r., recenzowano: 10.03.2016 r., zaakceptowano: 22.04.2016 r.

bliha et al. 2014). Szczegółowo opisane zostały parametry szyszek innych gatunków, m.in. świerka pospolitego (Kulej, Skrzyszewska 1996), ze wskazaniem zależności pomiędzy ich wymiarami (Barzdajn 1996) a środowiskiem, z którego pochodził materiał (Illoul-Hachi et al. 2015). Buraczyk (2009), w badaniach szyszek świerka pospolitego, zwrócił uwagę na wpływ wielkości szyszek i położenia w nich łusek na szybkość ich otwierania się i uwalniania nasion.

Celem badań była próba ustalenia kształtu szyszek oraz opracowanie najdokładniejszego modelu do obliczeń powierzchni i objętości zamkniętych szyszek jodły pospolitej. znajomość opisywanych parametrów być może pozwoli optymalizować warunki realizacji luszczzenia z uwzględnieniem właściwości biologicznych nasion.

2. Materiał i metody

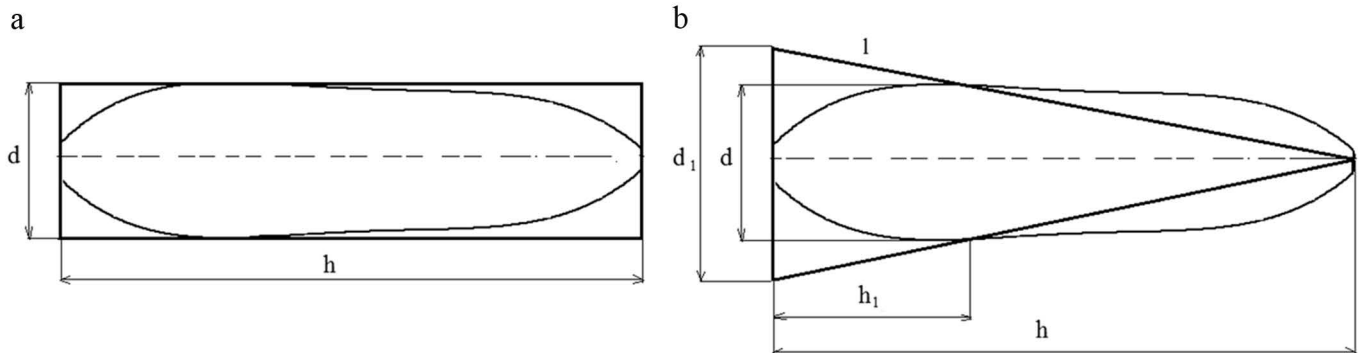
W badaniach wykorzystano zamknięte szyszki jodły pospolitej zebrane w gospodarczym drzewostanie nasiennym w Nadleśnictwie Jawor (Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych we Wrocławiu) z regionu pochodzenia 751.

Dla każdej z 30 losowo wybranych szyszek (ryc. 1) zmierzono długość (h), grubość – największą średnicę szyszki (d),



Rycina 1. Widok badanych szyszek jodły pospolitej (fot. M. Aniszewska)

Figure 1. View of the investigated silver fir cones (fot. M. Aniszewska)



Rycina 2. Modele geometryczne odwzorowujące kształt szyszek jodły pospolitej: a – walec, b – stożek

Figure 2. Geometric models mapping the shape of silver fir cones: a – cylinder, b – cone

masę (m) oraz liczbę łusek (n). Oceniono średnią wilgotność szyszek.

Do pomiaru długości i grubości zamkniętych szyszek wykorzystano suwmiarkę, a do pomiaru masy – wagę laboratoryjną WPS 600. Dokładność pomiaru długości i grubości wynosiła 0,1 cm, a masy – 0,1 g.

Na podstawie pomiaru długości oraz dodatkowo mierzonej sekwencyjnie średnicy, co 5 mm, obliczono pole powierzchni każdej szyszki. Zamknięte szyszki traktowano jako bryły obrotowe. Wyznaczono tworzącą powierzchni zewnętrznej. Odległość położenia przekroju od podstawy szyszki przyjęto za zerowy punkt układu współrzędnych (Aniszewska 2001). Współrzędne położenia przekroju i promień wyznaczone dla każdej szyszki były podstawą aproksymacji równania określającego tworzącą powierzchni zewnętrznej szyszki.

Funkcja kształtu $y=f(x)$ jest ciągła i nieujemna na całej długości (h) szyszki, więc pole powierzchni (S_{obl}) można obliczyć korzystając ze wzoru (1):

$$S_{obl} = 2 \cdot \pi \int_a^b y \, dL = 2 \cdot \pi \int_0^h y \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \, dx \quad (1)$$

gdzie:

dL – różniczka krzywej kształtu.

Biorąc pod uwagę fakt, że pola podstawy tej bryły są niewielkie, przyjęto, że powierzchnia boczna bryły jest równa powierzchni zewnętrznej szyszki.

Objętość szyszki (V_{obl}) wyznaczono ze wzoru (2):

$$V_{obl} = \pi \int_0^h y^2 \, dx \quad (2)$$

Powierzchnię zewnętrzną i objętość badanych szyszek obliczono też, stosując powszechnie znane wzory na powierzchnię boczną i objętość walca (S_w , V_w) oraz stożka (S_s , V_s), gdzie d to średnica szyszki w najgrubszym miejscu, h to długość szyszki, a l – tworząca stożka (ryc. 2).

W celu dokładniejszego obliczenia badanych wielkości zaproponowano wprowadzenie do wzorów na pole powierzchni $S_s(3)$ i objętość $V_s(5)$ liczonych ze stożka współczynnik α , który jest równy stosunkowi h_1 i h (Aniszewska 2001).

Symbol h_1 jest odległością od podstawy szyszki do położenia przekroju jej maksymalnej średnicy (tab.1). Tworząca stożka l jest prostą poprowadzoną z wierzchołka przez punkt d określający maksymalną średnicę i d_1 – średnicę podstawy stożka (ryc. 2b).

$$S_S = \pi \cdot \frac{d_1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 + h^2} \quad (3)$$

gdzie:

S_S – pole powierzchni szyszki liczone ze stożka,
 d_1, h – jak na rycinie 2.

Z zależności geometrycznej wynika, że

$$r_1 = h \frac{r}{h - h_1} = \frac{r}{1 - \alpha} \quad (4)$$

gdzie:

r_1 – promień podstawy stożka,
 r – promień szyszki.

$$V_s = \frac{1}{3} \pi \cdot \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 \cdot h \quad (5)$$

gdzie:

V_s – objętość szyszki liczona ze stożka.

Dodatkowo zmierzono objętość rzeczywistą szyszki (V_{rz}). Do pomiaru użyto menzurki wypełnionej wodą, przyjmując objętość wypartej cieczy jako objętość szyszki. Pomiar wykonano z dokładnością do 1000 mm³. Gęstość szyszek obliczono jako iloraz masy i objętości rzeczywistej.

W celu porównania obliczonych wartości objętości według modeli z objętością rzeczywistą wprowadzono wskaźniki zgodności: $k_1 = V_{obl}/V_{rz}$, $k_2 = V_w/V_{rz}$, $k_3 = V_s/V_{rz}$, $k_4 = S_{obl}/S_w$, $k_5 = S_{obl}/S_s$.

Wykonano statystykę opisową (Statistica 2011) dla parametrów zewnętrznych. Określono średnią, długość pół-

przedziału ufności dla średniej, odchylenie standardowe, minimum i maksimum. Średnie pola powierzchni i objętości porównano testem F analizy wariancji, przetestowano również jednorodność wariancji (test Levene'a) oraz zgodność z rozkładem normalnym. Do testowania normalności rozkładu cechy zależnej zastosowano test Shapiro-Wilka. Wszystkie analizy wykonano na poziomie istotności $\alpha=0,05$.

3. Wyniki badań

3.1. Parametry charakterystyczne szyszek

W tabeli 1 podano wartości długości (h) i grubości (d) badanych szyszek jodły pospolitej. Długość szyszek zawierała się w granicach od 12,4 do 19,7 cm, średnio 16,43 ($\pm 0,67$) cm, a grubość od 3,1 do 4,2 cm, średnio 3,75 ($\pm 0,42$) cm. Liczba łusek w szyszce wynosiła od 125 do 219, średnio 185 ($\pm 7,60$). Wykazano istotną zależność między grubością i długością szyszek oraz liczbą łusek (n), a tymi dwiema charakterystykami. Równania zależności liniowej i współczynniki determinacji podano poniżej.

$$d = 0,132 h + 1,571 \quad R^2 = 0,650 \quad (6)$$

Zwiększenie długości szyszki o 1 cm powodowało wzrost jej grubości o 1,3 mm.

$$n = 9,732 h + 25,06 \quad R^2 = 0,523 \quad (7)$$

Z równania (7) wynikało, że z każdym centymetrem przybywało około 10 łusek.

Masa zamkniętych, świeżych szyszek średnio wynosiła 105,91 ($\pm 8,85$) g i zawierała się w zakresie od 48 do 142 g (tab. 1). Średnia wilgotność szyszek jodły tuż po zbiorze wynosiła średnio 110%.

Dla badanej partii szyszek gęstość wynosiła od 0,68 do 0,90 g·cm⁻³, średnio 0,81 ($\pm 0,02$) g·cm⁻³.

Tabela 1. Charakterystyczne parametry szyszek jodły pospolitej
 Table 1. Characteristic parameters of silver fir cones

| Numer szyszki No. of cone | Długość Length | Odległość od podstawy Distance from the base | Współczynnik Coefficient | Grubość Thickness | Liczba łusek Number of scales | Masa Weight | Objętość rzeczywista Actual volume |
|------------------------------|-------------------|---|-----------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| | h | h_1 | $\alpha = h_1/h$ | d | n | m | V_{rz} |
| | cm | cm | - | cm | szt. | g | cm ³ |
| 1 | 14,4 | 6,0 | 0,42 | 3,5 | 187 | 84,3 | 100 |
| 2 | 17,6 | 7,0 | 0,40 | 3,8 | 184 | 109,0 | 136 |
| 3 | 15,8 | 6,5 | 0,41 | 3,4 | 188 | 81,6 | 100 |
| 4 | 19,7 | 6,5 | 0,33 | 4,0 | 216 | 141,8 | 180 |
| 5 | 17,2 | 5,5 | 0,32 | 3,8 | 199 | 110,9 | 150 |
| 6 | 15,7 | 5,0 | 0,32 | 3,5 | 182 | 97,6 | 115 |

| Numer szyszki No. of cone | Długość Lenght | Odległość od podstawy Distance from the base | Współczynnik Coefficient | Grubość Thickness | Liczba lusek Number of scales | Masa Weight | Objętość rzeczywista Actual volume |
|--|-------------------|---|-----------------------------|----------------------|--|----------------|---|
| | h | h_1 | $\alpha=h_1/h$ | d | n | m | V_{rz} |
| | cm | cm | - | cm | szt. | g | cm ³ |
| 7 | 12,5 | 5,0 | 0,40 | 3,5 | 157 | 76,7 | 88 |
| 8 | 17,0 | 3,5 | 0,21 | 4,2 | 202 | 122,7 | 160 |
| 9 | 14,4 | 3,5 | 0,24 | 3,4 | 155 | 65,6 | 80 |
| 10 | 13,7 | 3,5 | 0,26 | 3,20 | 162 | 73,1 | 85 |
| 11 | 16,8 | 4,0 | 0,24 | 4,10 | 190 | 129,3 | 160 |
| 12 | 18,2 | 7,0 | 0,38 | 3,90 | 192 | 110,1 | 145 |
| 13 | 18,5 | 4,0 | 0,22 | 3,90 | 202 | 125,0 | 150 |
| 14 | 17,5 | 4,0 | 0,23 | 4,10 | 197 | 132,1 | 170 |
| 15 | 17,2 | 6,0 | 0,35 | 3,90 | 186 | 100,6 | 148 |
| 16 | 14,1 | 4,0 | 0,28 | 3,65 | 152 | 90,5 | 110 |
| 17 | 16,5 | 5,0 | 0,30 | 3,60 | 196 | 101,3 | 130 |
| 18 | 17,8 | 5,0 | 0,28 | 4,2 | 198 | 136,2 | 160 |
| 19 | 18,0 | 4,0 | 0,22 | 4,2 | 197 | 136,3 | 160 |
| 20 | 17,5 | 4,5 | 0,26 | 3,8 | 206 | 119,7 | 160 |
| 21 | 16,6 | 4,5 | 0,27 | 4,0 | 179 | 135,5 | 150 |
| 22 | 17,0 | 5,0 | 0,29 | 3,8 | 177 | 105,4 | 135 |
| 23 | 17,1 | 7,0 | 0,41 | 4,0 | 192 | 115,2 | 145 |
| 24 | 15,2 | 6,0 | 0,39 | 3,5 | 176 | 92,0 | 110 |
| 25 | 17,0 | 5,0 | 0,29 | 4,0 | 174 | 111,4 | 140 |
| 26 | 12,4 | 4,0 | 0,32 | 3,1 | 125 | 48,2 | 60 |
| 27 | 14,7 | 4,5 | 0,31 | 3,5 | 171 | 80,8 | 90 |
| 28 | 16,8 | 5,0 | 0,30 | 3,7 | 208 | 120,6 | 140 |
| 29 | 17,2 | 3,5 | 0,20 | 3,8 | 179 | 94,0 | 120 |
| 30 | 18,7 | 4,0 | 0,21 | 3,9 | 219 | 129,7 | 182 |
| Średnia Mean | 16,43 | 4,93 | 0,30 | 3,75 | 184,93 | 105,91 | 131,97 |
| Odchylenie standardowe Standard deviation | 1,79 | 1,12 | 0,07 | 0,29 | 20,36 | 23,70 | 31,67 |
| Min Min | 12,4 | 7,0 | 0,20 | 3,10 | 125 | 48,2 | 60 |
| Max Max | 19,7 | 3,5 | 0,42 | 4,20 | 219 | 141,8 | 182 |

α , h_1 , h – jak na rycinie 2 / as in Figure 2

3.2. Powierzchnia i objętość zamkniętych szyszek

Po wielu próbach wybrano wielomian czwartego stopnia jako dobrze odwzorowujący kształt szyszek. Uzyskany współczynnik determinacji R^2 zawierał się w granicach od 0,949 do 0,996, średnio 0,980. Ogólne równanie tworzącej kształtu szyszek ma postać:

$$y = Ax^4 + Bx^3 + Cx^2 + Dx + E, \quad (8)$$

gdzie $x \in (0, h)$.

Średnie, odchylenie standardowe, minimalne i maksymalne wartości współczynników od A do E podano w tabeli 2, a przykładowy przebieg zmian krzywej tworzącej dla szyszki na rycinie 3.

Wyznaczone równania tworzących poszczególnych szyszek pozwoliły na obliczenie pola powierzchni S_{obl} i objętości V_{obl} (tab. 3).

Duża zmienność współczynników A , B , C i E wielomianu dla poszczególnych szyszek powoduje, że mimo istotnych zależności od długości (równanie 9–12) i grubości nie ma możliwości praktycznego zastosowania wzoru do obliczenia objętości i pola powierzchni dowolnej szyszki jodły, gdy znane są jedynie jej podstawowe parametry (d i h).

$$A = 5 \times 10^{-9}h - 1 \times 10^{-6} \quad R^2 = 0,718 \quad (9)$$

$$B = 1 \times 10^{-6}h + 3 \times 10^{-4} \quad R^2 = 0,677 \quad (10)$$

$$C = 7 \times 10^{-5}h - 0,026 \quad R^2 = 0,410 \quad (11)$$

$$E = 0,044h - 1,366 \quad R^2 = 0,423 \quad (12)$$

Dla współczynnika D nie wykazano istotnej zależności od długości ani grubości szyszki.

Wartości pola powierzchni szyszki (S_{obl}), obliczone ze wzoru 1, wynosiły od 87,30 do 261,30 cm^2 , średnio 156,98 ($\pm 14,11$) cm^2 a objętości (V_{obl}), według wzoru 2, od 61,22 do 250,23 cm^3 , średnio 144,01 ($\pm 17,13$) cm^3 (tab. 3).

Wartości pola powierzchni szyszki (S_w) liczone według modelu obliczeniowego walca wynosiły od 121,05 do 247,56 cm^2 , średnio 194,91 ($\pm 12,51$) cm^2 a objętości (V_w) od 93,82 do 248,96 cm^3 , średnio 185,05 ($\pm 16,38$) cm^3 (tab. 3).

Wartości współczynnika α , h_1 dla poszczególnych szyszek, wykorzystywane w obliczeniach pola powierzchni S_s i objętości V_s stożka, podano w tabeli 1. Średnio współczynnik α wynosi 0,30 ($\pm 0,03$), a h_1 – 4,93 ($\pm 0,42$).

Wzory, według których wyliczono podane w tabeli 3 wartości objętości i pola powierzchni według modelu stożka, ale uwzględniające współczynnik α , przedstawiają równania 13 i 14. Podane stałe wynikają z przeliczenia równań 3–5.

$$V_s = 0,534 \cdot d^2 \cdot h \quad (13)$$

$$S_s = 1,602 \cdot d \cdot \sqrt{d^2 + 1,96 \cdot h^2} \quad (14)$$

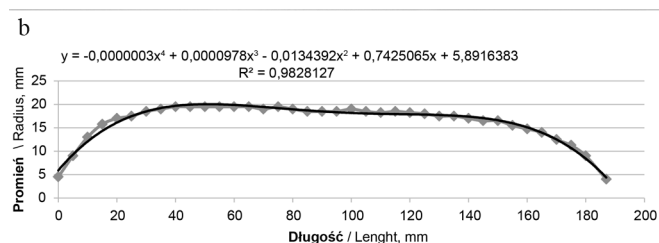
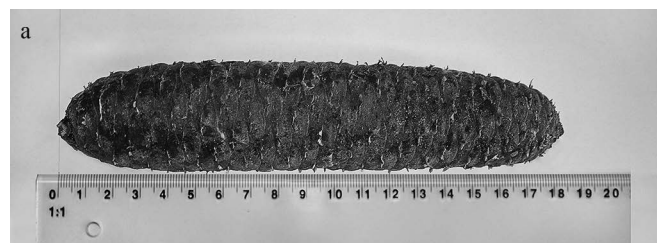
Pole powierzchni szyszki (S_s) wynosiło od 87,78 do 178,58 cm^2 , średnio 140,99 ($\pm 9,01$) cm^2 a objętość (V_s) od 63,79 do 169,27 cm^3 , średnio 125,82 ($\pm 11,13$) cm^3 (tab. 3).

Wyniki objętości rzeczywistej (V_{rz}) podano w tabeli 1. Średnia objętość rzeczywista wynosiła 131,97 ($\pm 11,84$) cm^3 , od 60 do 182 cm^3 . Obliczono zależność objętości rzeczywistej od długości i grubości szyszek (15 i 16). Wzrost długości

Tabela 2. Wartości statystyczne współczynników A÷E równania kształtu

Table 2. Statistical values of coefficients A÷E form of the equation

| Parametr Parameter | A | B | C | D | E |
|---|-------------|-----------|-----------|----------|--------|
| Średnia Mean | -0,00000038 | 0,0001245 | -0,014904 | 0,752157 | 5,9349 |
| Odchylenie standardowe Standard deviation | 0,00000012 | 0,0000254 | 0,001875 | 0,062385 | 1,2206 |
| Minimum Minimum | -0,00000070 | 0,0000850 | -0,019570 | 0,602319 | 3,6540 |
| Maksimum Maximum | -0,00000020 | 0,0001810 | -0,011298 | 0,882000 | 8,6000 |



Rycina 3. Szyszka jodły pospolitej: a – widok ogólny, b – wykres krzywej tworzącej

Figure 3. Cone silver fir: a – general view, b – cone outline data visualization

o 1 cm powodował wzrost objętości rzeczywistej o blisko 16 cm³, a w przypadku grubości – o około 97 cm³.

$$V_{rz} = 16,2 \cdot h - 133,5 \quad R^2=0,829 \quad (15)$$

$$V_{rz} = 97,5 \cdot d - 233,9 \quad R^2=0,817 \quad (16)$$

Obliczone trzema sposobami wartości pola powierzchni i objętości przyrównano do wartości rzeczywistych. Średnia wartość wskaźnika k_1 określającego stosunek objętości obliczonej V_{obl} do zmierzonej V_{rz} wynosiła 1,08 ($\pm 0,07$). Duża zgodność objętości obliczonej (V_{obl}), według funkcji wielomianu czwartego stopnia, z wartością zmierzona dla szyszki (V_{rz}) pozwoliła stwierdzić, że i powierzchnia S_{obl} obliczona tą metodą jest dobrym przybliżeniem wartości rzeczywistej.

Wartości badanych wskaźników opisujących stosunki badanych wielkości: k_1 , k_2 , k_3 , k_4 oraz k_5 podano w tabeli 3.

Wartość wskaźnika k_2 , będącego stosunkiem objętości obliczonej z modelu walca (V_w) do objętości zmierzonej (V_{rz}), zawierała się w granicach od 1,23 do 1,63, średnio 1,41 ($\pm 0,04$). Była ona dużo wyższa niż wartość k_1 , co świadczy o istotnych różnicach między wartościami obliczonymi według modelu walca a wartościami zmierzonymi.

Chcąc zastosować model walca do obliczenia objętości faktycznej (V_{wf}), należy otrzymane wartości pomnożyć przez 0,709 (równanie 17), a przy obliczaniu pola powierzchni (S_{wf}) przez wartość 0,810 wynikającą z zależności S_w i S_{obl} (k_4).

$$V_{wf} = V_w / k_2 = V_w / 1,41 = V_w \cdot 0,709 \quad (17)$$

Przeliczone wartości faktyczne dla pola powierzchni S_{fw} i objętości V_{fw} średnio wynoszą 157,88 ($\pm 10,13$) cm² i 131,20 ($\pm 11,61$) cm³. Graficzne porównanie badanych wielkości (pola powierzchni i objętości) pokazano na rycinie 4.

Tabela 3. Pole powierzchni i objętość oraz wskaźniki zgodności dla badanych szyszek jodły pospolitej

Table 3. Surface area and volume, and compliance rates for the tested silver fir cones

| Nr szyszki No. of cone | Pole po- wierzchni | | Pole po- wierzchni | | Pole po- wierzchni | | Wskaźnik zgodności | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| | Surface area | Objętość Volume | Surface area | Objętość Volume | Surface area | Objętość Volume | Compliance rates | | | | |
| | S_{obl} cm ² | V_{obl} cm ³ | S_w cm ² | V_w cm ³ | S_s cm ² | V_s cm ³ | k_1 | k_2 | k_3 | k_4 | k_5 |
| 1 | 122,56 | 91,66 | 155,97 | 134,52 | 112,97 | 91,46 | 0,92 | 1,35 | 0,91 | 0,79 | 1,08 |
| 2 | 168,91 | 137,42 | 208,77 | 197,28 | 150,79 | 134,14 | 1,01 | 1,45 | 0,99 | 0,81 | 1,12 |
| 3 | 141,98 | 106,41 | 168,77 | 143,45 | 121,90 | 97,53 | 1,06 | 1,43 | 0,98 | 0,84 | 1,16 |
| 4 | 261,30 | 250,23 | 247,56 | 247,57 | 178,58 | 168,32 | 1,39 | 1,38 | 0,94 | 1,06 | 1,46 |
| 5 | 171,49 | 140,44 | 202,75 | 190,08 | 146,49 | 129,24 | 0,94 | 1,27 | 0,86 | 0,85 | 1,17 |
| 6 | 134,66 | 101,17 | 172,08 | 150,57 | 124,41 | 102,37 | 0,88 | 1,31 | 0,89 | 0,78 | 1,08 |
| 7 | 111,59 | 84,23 | 136,99 | 119,18 | 99,70 | 81,03 | 0,96 | 1,35 | 0,92 | 0,81 | 1,12 |
| 8 | 181,47 | 162,89 | 222,03 | 230,36 | 160,89 | 156,62 | 1,02 | 1,44 | 0,98 | 0,82 | 1,13 |
| 9 | 114,80 | 80,45 | 153,39 | 130,38 | 111,06 | 88,64 | 1,01 | 1,63 | 1,11 | 0,75 | 1,03 |
| 10 | 124,53 | 93,04 | 137,73 | 110,18 | 99,68 | 74,91 | 1,09 | 1,30 | 0,88 | 0,90 | 1,25 |
| 11 | 193,33 | 203,28 | 216,52 | 221,93 | 156,90 | 150,90 | 1,27 | 1,39 | 0,94 | 0,89 | 1,23 |
| 12 | 191,33 | 196,84 | 222,99 | 217,42 | 161,05 | 147,82 | 1,36 | 1,50 | 1,02 | 0,86 | 1,19 |
| 13 | 189,08 | 159,52 | 226,67 | 221,00 | 163,64 | 150,26 | 1,06 | 1,47 | 1,00 | 0,83 | 1,16 |
| 14 | 149,40 | 155,77 | 224,77 | 230,38 | 162,71 | 156,64 | 0,92 | 1,36 | 0,92 | 0,66 | 0,92 |
| 15 | 188,14 | 173,41 | 210,74 | 205,47 | 152,41 | 139,70 | 1,17 | 1,39 | 0,94 | 0,89 | 1,23 |
| 16 | 135,55 | 108,42 | 162,14 | 147,95 | 117,70 | 100,60 | 0,99 | 1,35 | 0,91 | 0,84 | 1,15 |
| 17 | 198,22 | 197,77 | 186,05 | 167,44 | 134,43 | 113,84 | 1,52 | 1,29 | 0,88 | 1,07 | 1,47 |
| 18 | 185,87 | 175,48 | 231,68 | 240,37 | 167,68 | 163,43 | 1,10 | 1,50 | 1,02 | 0,80 | 1,11 |
| 19 | 143,63 | 140,93 | 237,11 | 248,96 | 171,62 | 169,27 | 0,88 | 1,56 | 1,06 | 0,61 | 0,84 |

| Nr szyszki No. of cone | Pole po- wierzchni Surface area | Objętość Volume | Pole po- wierzchni Surface area | Objętość Volume | Pole po- wierzchni Surface area | Objętość Volume | Wskaźnik zgodności Compliance rates | | | | |
|--|--|--------------------|--|--------------------|--|--------------------|--|-------|-------|-------|-------|
| | S_{obl} | V_{obl} | S_w | V_w | S_s | V_s | k_1 | k_2 | k_3 | k_4 | k_5 |
| | cm ² | cm ³ | cm ² | cm ³ | cm ² | cm ³ | - | - | - | - | - |
| 20 | 159,88 | 131,51 | 209,04 | 198,58 | 151,01 | 135,02 | 0,82 | 1,24 | 0,84 | 0,76 | 1,06 |
| 21 | 202,95 | 223,18 | 208,10 | 208,10 | 150,76 | 141,49 | 1,49 | 1,39 | 0,94 | 0,98 | 1,35 |
| 22 | 180,11 | 170,80 | 202,95 | 192,80 | 146,72 | 131,09 | 1,27 | 1,43 | 0,97 | 0,89 | 1,23 |
| 23 | 159,19 | 161,83 | 215,14 | 215,14 | 155,71 | 146,27 | 1,12 | 1,48 | 1,01 | 0,74 | 1,02 |
| 24 | 150,80 | 135,62 | 164,96 | 142,28 | 119,30 | 96,74 | 1,23 | 1,29 | 0,88 | 0,91 | 1,26 |
| 25 | 178,29 | 167,16 | 210,96 | 208,32 | 152,66 | 141,64 | 1,19 | 1,49 | 1,01 | 0,85 | 1,17 |
| 26 | 93,62 | 61,22 | 121,05 | 93,82 | 87,78 | 63,79 | 1,02 | 1,56 | 1,06 | 0,77 | 1,07 |
| 27 | 117,20 | 79,57 | 159,76 | 137,79 | 115,64 | 93,69 | 0,88 | 1,53 | 1,04 | 0,73 | 1,01 |
| 28 | 152,86 | 131,86 | 195,75 | 181,07 | 141,45 | 123,11 | 0,94 | 1,29 | 0,88 | 0,78 | 1,08 |
| 29 | 87,30 | 124,82 | 205,45 | 195,18 | 148,49 | 132,71 | 1,04 | 1,63 | 1,11 | 0,42 | 0,59 |
| 30 | 119,48 | 173,21 | 229,61 | 223,87 | 165,72 | 152,21 | 0,95 | 1,23 | 0,84 | 0,52 | 0,72 |
| Średnia Mean | 156,98 | 144,01 | 194,91 | 185,05 | 140,99 | 125,82 | 1,08 | 1,41 | 0,96 | 0,81 | 1,12 |
| Odchylenie standardowe Standard deviation | 37,78 | 45,88 | 33,49 | 43,86 | 24,12 | 29,82 | 0,19 | 0,11 | 0,08 | 0,13 | 0,19 |
| Min Min | 87,30 | 61,22 | 121,05 | 93,82 | 87,78 | 63,79 | 0,82 | 1,23 | 0,84 | 0,42 | 0,59 |
| Max Max | 261,30 | 250,23 | 247,56 | 248,96 | 178,58 | 169,27 | 1,52 | 1,63 | 1,11 | 1,07 | 1,47 |

S_{obl}, V_{obl} – pole powierzchni i objętość szyszki ze wzoru (1) / Surface area and volume of cones according to formula 1

S_w, V_w – pole powierzchni i objętość szyszki wg modelu walca / Surface area and volume of cones according to cylinder model

S_s, V_s – pole powierzchni i objętość szyszki wg modelu stożka / Surface area and volume of cones according to cone model

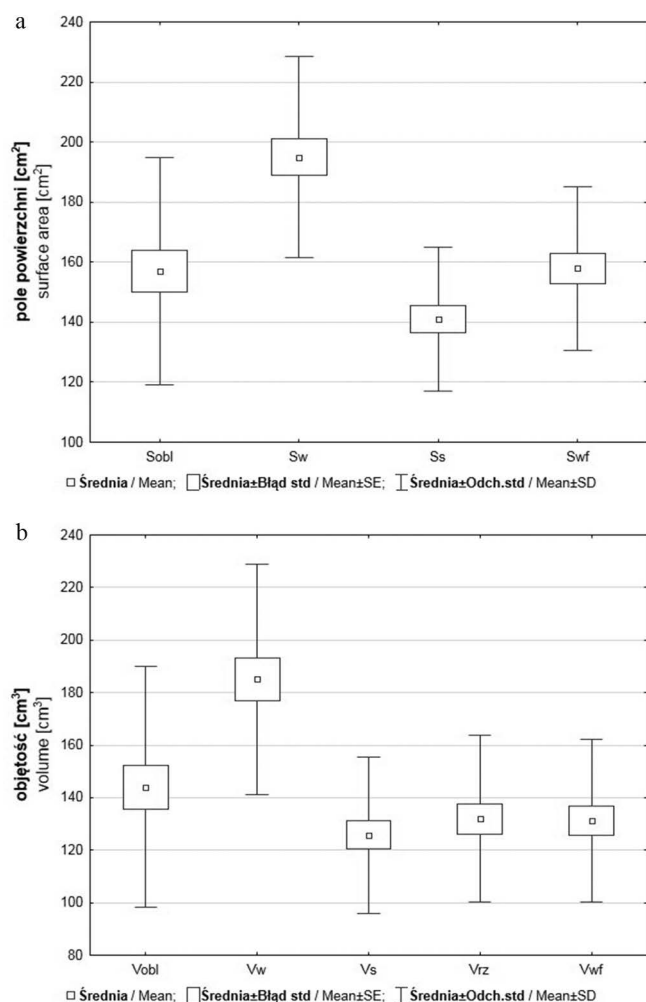
Stosując analizę wariancji, wykazano istotną różnicę między S_w a pozostałymi polami powierzchni oraz między S_w a S_s ($p=0,013$) i S_w ($p<0,05$). W przypadku porównań wartości objętości wykazano istotną różnicę między V_w a wszystkimi innymi badanymi modelami obliczeniowymi objętości dla $p<0,05$. Istotne zależności dla tych wielkości potwierdził też test jednorodności wariancji Levene'a, wykonany dla badanych modeli obliczeniowych. Wykazano, że wartości objętości i pola powierzchni mają rozkład normalny.

Wartość wskaźnika k_3 średnio wynosiła 0,96 ($\pm 0,03$). Wartość objętości liczonej z modelu stożka (równanie 14) była mniejsza o blisko 5% od rzeczywistej objętości V_{rz} . Z kolei wskaźnik k_5 średnio wynosił 1,12 ($\pm 0,07$). Pole powierzchni liczone według zmodyfikowanego modelu stożka (równanie 13) było średnio mniejsze o 8% od pola powierzchni S_{obl} uznawanego jako rzeczywiste.

4. Dyskusja

Porównując wyniki parametrów zewnętrznych badanych szyszek jodły, zauważono, że mieszczą się one w granicach podawanych przez innych autorów (Barzdajn 2009). Najbardziej zbliżone były do parametrów uzyskanych przez Nanu (1977) dla szyszek jodły z Rumunii, które miały długość od 7,0 do 19,5 cm, a grubość od 2,9 do 4,6 cm. Podobne wyniki podała także Kočova (1974), opisując szyszki ze Słowacji.

Dziękując znajomości długości i grubości szyszki można obliczyć pole powierzchni i objętośc szyszki zamkniętej. Zaproponowany model wielomianu czwartego stopnia posłużył jedynie do opisu kształtu szyszki i do obliczenia pola powierzchni oraz objętości konkretnych szyszek. Próba zastosowania go do innych szyszek z partii, przy wykorzystaniu uśrednionych wartości współczynnikaw równania $A, B,$



Rycina 4. Porównanie wartości średnich, błędów standardowych i odchyłeń standardowych dla badanych modeli obliczeniowych: a – pola powierzchni, b – objętości: S_{obl} , V_{obl} – liczone ze wzoru 1 i 2, S_w , V_w – liczone według wzoru na walec, S_s , V_s – liczone według wzoru na stożek (13, 14), S_{wfp} , V_{wfp} – liczone według wzoru na walec z uwzględnieniem stałej

Figure 4. Comparison of mean values, standard errors and standard deviations for the test computational models: a – surface area, b – volume: S_{obl} , V_{obl} – calculated from the formula 1 and 2, S_w , V_w – calculated according to the formula on the cylinder, S_s , V_s – calculated according to the formula on a cone (13, 14), S_{wfp} , V_{wfp} – calculated according to the formula for the inclusion of a fixed cylinder

C, D, E, nie powiodła się, gdyż dawała znacznie zawyżone wyniki. Zaproponowany drugi i trzeci sposób obliczania pola powierzchni i objętości szyszki jodły za pomocą walca czy stożka okazał się bardziej przydatny. Wartości objętości obliczone przy użyciu modelu pierwszej z wymienionych brył należało pomnożyć przez stałą 0,709. Po przeliczeniu otrzymane wartości objętości (V_{wfp}) porównano z wartościami rzeczywistymi objętości, wyznaczonymi za pomocą metody hydrometrycznej (V_{rz}). Przeciętnie stosunek tych wielkości równy był 1,00 ($\pm 0,03$), co świadczy o poprawnie dobranym modelu. Z kolei aby pole powierzchni zamkniętej szyszki, obliczone za pomocą wzoru na walec (S_w), było porównywalne do wartości pola powierzchni obliczonej według funkcji

wielomianu czwartego stopnia (S_{obl}), powinno być pomnożone przez stałą równą 0,810. W wyniku tego, proporcja obliczonych pól wynosiła średnio 1,04 ($\pm 0,08$).

Badania prowadzone dla innych gatunków, tj. sosny zwyczajnej i świerka pospolitego, określiły sposób obliczania pola powierzchni i objętości ze wzoru na stożek (Aniszewska 2001; Gawart, Mikłaszewicz 2000). Wartości pola powierzchni i objętości dla szyszek jodły pospolitej liczone według tej metody w porównaniu do powierzchni obliczonej według funkcji wielomianu czwartego stopnia i objętości rzeczywistej były mniejsze odpowiednio o 8 i 5% (k_s , k_3). Porównując, dla świerka pospolitego wartości pola powierzchni różniły się o 5%, a wartości objętości o 10% (Aniszewska 2001).

Badane parametry szyszek jodły, tj. długość, grubość, masa, wilgotność, ich pole powierzchni, objętość oraz gęstość, mogą być wykorzystane przy programowaniu cieplnych procesów łuszczenia w szafach łuszcarskich w warunkach gospodarczych, dla pozyskania dobrych jakościowo nasion.

5. Wnioski

1. Kształt szyszek jodły pospolitej dość dokładnie opisuje krzywa będąca wielomianem czwartego stopnia. Jednakże ze względu na zbyt duże różnice w stosunku do wartości rzeczywistych otrzymanych współczynników dla tego wielomianu nie można ich uśrednić i wykorzystać do obliczenia objętości oraz pola powierzchni dowolnej szyszki, pomimo istotnej zależności od długości i grubości szyszki (poza współczynnikiem D).

2. Ogólnym modelem obliczeniowym opisującym pole powierzchni i objętość szyszek jodły pospolitej może być wzór na walec lub stożek. Wartości objętości wyliczone za pomocą wzoru na walec należy pomnożyć przez wartość stałą, wynoszącą 0,709, a w przypadku pola powierzchni – przez 0,810. Natomiast wykorzystując wzór na stożek, należy wprowadzić do opisu współczynnik $\alpha=0,3$. Analiza wyników wykazała, że po wprowadzeniu współczynnika α pola powierzchni i objętości różniły się tylko odpowiednio o 8 i 5% od rzeczywistych wartości.

Konflikt interesów

Autorki deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródła finansowania

Badania zostały sfinansowane ze środków własnych Wydziału Inżynierii Produkcji Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Literatura

- Aniszewska M. 2001. Zmienność podstawowych parametrów szyszki świerka. *Sylvan* 145(6):87–93.
- Ballian D., Čabaravdić A. 2005. Međupopulacijska varijabilnost nekih morfoloških svojstava obične jele (*Abies alba* Mill.) iz središnje Bosne. *Radovi Šumarskog Instituta, Jastrebarsko* 40(1): 5–18.

- Barzdajn W. 1996. Ocena wartości diagnostycznej morfologicznych cech szyszek świerka pospolitego [*Picea abies* (L.) Karst.] w celu wyróżnienia jego proveniencji. *Sylwan* 140(9): 61–75.
- Barzdajn W. 2009. Adaptacja różnych pochodzeń jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) do warunków Sudetów. *Leśne Prace Badawcze* 70(1): 49–58. DOI 10.2478/v10111-009-0005-2.
- Bednarek T. 2002. Zmienność osobnicza jodły (*Abies alba* Mill.) w lasach zarządzanych przez Regionalną Dyрекcyję lasów Państwowych we Wrocławiu. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im H. Kollątaja w Krakowie* 339:181–195.
- Bis R., Dobrowolska D. 2012. Występowanie jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w Puszczy Iłżeckiej. [Silver fir (*Abies alba* Mill.) occurrence in south-eastern part of Iłżecka Forest]. *Leśne Prace Badawcze* 73(4):273–282. DOI 10.2478/v10111-012-0026-0.
- Boratyński A. 1983. Systematyka i geograficzne rozmieszczenie jodły, w: Jodła pospolita (*Abies alba* Mill.), (red.S. Białobok). PWN, Warszawa–Poznań, 41–86.
- Buraczyk W. 2009. Morphological changeability of cones of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in the Białowieża Forest. *Folia Forestalia Polonica, series A*: 51(2):154–160.
- Gawart B., Mikłaszewicz M. 2000. Modele matematyczne kształtu szyszek sosny i świerka. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej* 2:20–22.
- Gudeski A. 1966. Morfologija na semeto i na šišarkite na elata (*Abies alba* Mill.) od nacionalniot park „Risnák”. *God. Zborn. Zemj. – Šum. Fak. Univ. Skopje* 19:187–215.
- Gunia S., Kowalski M. 1968. Jodła pospolita (*Abies alba* Mill.) w Puszczy Białowieskiej. *Sylwan* 112(3):59–66.
- Gunia S. 1986. Próba oceny wartości genetycznej i hodowlanej jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) z Sudetów i Karpat polskich. *Sylwan* 130(2–3): 83–92.
- Illoul-Hachi M., Derridj A., Fady B. 2015. Efficiency of seed production and cone size of *Abies numidica* De Lannoy in the plantation in Algeria. *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences* 3(7): 9–16.
- Instrukcji gromadzenia i przechowywania zasobów genowych. 2007. Leśny Bank Genów Kostrzyca.
- Jaworski A., Paluch J. 2007. Charakterystyka cech morfologicznych jodeł w drzewostanach o strukturze przerębowej Beskidów Zachodnich. *Leśne Prace Badawcze* 3:7–13.
- Kobliha J., Škorpić P., Stejskal J., Češka P. 2014. Hybridization results using the hybrid *Abies cilicica* × *Abies cephalonica*. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 13(4): 23–31.
- Kočova M. 1974. Dedivost’ plodov Jedlebielej (*Abies alba* Mill.) na Slovensku. *Acta Musei Silesiae, Series Dendrologia (Opava)* 23: 171–179.
- Kulej M., Skrzyszewska K. 1996. Wstępną ocena zmienności szyszek świerka istebniańskiego na przykładzie wybranych drzewostanów nasiennych Nadleśnictwa Wisła. *Sylwan* 140(5): 105–120.
- Nanu N. 1977. Contributii la biometriaconurilor de brad (*Abies alba* Mill.). *Revista Padurilor* 92(3): 140–147.
- Politi P.I., Georghiou K., Arianoutsou M. 2011. Reproductive biology of *Abies cephalonica* Loudon in Mount Aenos National Park, Cephalonia, Greece. *Trees* 25: 655–668. DOI 10.1007/s00468-011-0542-1.
- Sabor J., Skrzyszewska K., Banach J. 1999. Ogólnopolskie Doświadczenie Proveniencyjne Jd PL 86/90. Powierzchnia porównawcza z jodłą pospolitą w Nadleśnictwie Baligród. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie* 61:263–280.
- Schütt P. 1991. Tannenarten Europas und Kleinasien. Verlag Birkhuser, Basel
- Statistica 10. 2011. Start Soft. www.statsoft.com.
- Sugiero D. 2005. Jodła pospolita (*Abies alba* Mill.) w drzewostanach zespołu żyznej buczyny karpackiej (*Dentarioglandulosae-Fagetum*). *Sylwan* 149(11):42–49.
- Suszka B. 1983. Rozmnażanie generatywne, w: Jodła pospolita *Abies alba* Mill. (red. S. Białobok). PWN, Warszawa–Poznań.
- Szeligowski H., Bolibok L., Buraczyk W., Drozdowski S. 2011. Analiza wybranych cech jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na powierzchni proveniencyjnej w Rogowie. [Characteristics of silver fir (*Abies alba* Mill.) in a provenance trial in Rogów]. *Leśne Prace Badawcze* 72(3): 225–231. DOI10.2478/v10111-011-0022-9.
- Tracz M., Barzdajn W. 2007. The morphological traits of cones and seeds of *Abies alba* in Middle Sudeten. *Dendrobiology* 58: 59–65.
- Tyszkiewicz S. 1949. Nasiennictwo Leśne. Instytut Badawczy Leśnictwa, Seria D. nr 2, 358.
- Wilczkiewicz M. 1976. Jodła pospolita (*Abies alba* Mill.) w Sudetach. *Sylwan* 120(1): 69–80.
- Załęski A. (red.) 1995. Nasiennictwo leśnych drzew i krzewów iglastych. Oficyna Edytorska Wydawnictwo Świat. Warszawa, 180.

Wkład autorów

M.A. – koncepcja, przegląd literatury, metodyka, pomiary, opracowanie wyników, opracowanie statystyczne, wnioski, pisanie manuskryptu, korekta; U.B. – przegląd literatury, pomiary, korekta.