

## Wybrane cechy szyszek jodły pospolitej *Abies alba* Mill. w aspekcie procesu wyluszczenia i jakości nasion

Selected traits of Silver fir *Abies alba* Mill. cones in the context of the extraction process and seed quality

Monika Aniszewska\* , Jacek Brzózko, Witold Zychowicz 

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych,  
ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa, Polska

\*Tel. +48 22 5934520, e-mail: monika\_aniszewska@sggw.pl

**Abstract.** Fir cones *Abies alba* Mill. are not as extensively described in the literature as cones of other species and therefore there is no description of the changes in water content and their dynamics during the extraction process. Developing a mathematical model describing these changes based on cone parameters and air temperature is a step forward to determine the optimal conditions for the extraction process. Here we present such a model derived using fresh cones collected in a seed production stand in the Zwoleń Forest District (RDSF Radom). For 120 randomly chosen cones, the length and the largest diameter of the cone were measured, using the Multiscan program. In addition, for 60 randomly selected cones, the diameter was measured along the entire length of the cone at 10 mm intervals. This allowed us to generate cone models approximating rotational solids for which the outer surface area was calculated using a fourth degree polynomial function and the obtained area was then used to determine cone volume. To facilitate the generalization of surface area and volume calculations to other cones, the ks1 and ks2 coefficients were derived, which simplified the employed formulas without significantly affecting accuracy.

Analogous analyses were also carried out for cone stems, which allowed the process of seed extraction from cones to be described by mathematical equations. The stem of the cone was found to constitute 2.6% of its volume and 4% of its dry mass. An exponential equation was used to describe the mass change of the cone during the seed extraction process, in which the parameters are the initial and final water content in the cone and the power factor b, which is a function of the cone thickness. For the extracted seeds, energy content and germination rate were determined 14 and 28 days after sowing. The seeds obtained in the investigated extraction process did not reach first grade quality.

**Keywords:** water content, desiccation rate, cones, stem, seeds

### Spis symboli / Symbols list:

$As(t), Bs(t), Cs(t), Ds(t), Es(t)$  – współczynniki wielomianu kształtu szyszek (s) / coefficients of the polynomial shape of cone (s), trzpienia (t) / stem (t)

b – współczynnik charakterystyczny szyszek,  $1 \cdot h^{-1}$  / cone characteristic indicator,  $h^{-1}$

dL – różniczka krzywej kształtu / curve of shape differential

ds – grubość szyszek, cm / cone thickness, cm

$d_t$  – grubość trzpienia, cm / stem thickness, cm

exp – e(2,718) podstawa logarytmu naturalnego / e(2,718) basis of natural logarithm

$h_s$  – długość szyszek, cm / cone length, cm

$h_t$  – długość trzpienia, cm / stem length, cm

$ks_1 = V_{Sobl}/V_{Sw}$  – wskaźnik 1 dla szyszek (s) / cone in dicator 1 (s)

$ks_2 = S_{Sobl}/S_{Sw}$  – wskaźnik 2 dla szyszek (s) / cone in dicator 2 (s)

$kt_1 = V_{tobl}/V_{tw}$  – wskaźnik 1 dla trzpienia (t) / stem in dicator 1 (s)

$kt_2 = S_{tobl}/S_{tw}$  – wskaźnik 2 dla trzpienia (t) / stem in dicator 2 (s)

l – liczba łusek, szt. / number of scales, pcs.

$m_{H_2O}$  – masy wody, g / mass of water, g

$m_s$  – masa suchej substancji, g / mass of dry substance, g

$m_{ss}$  – masa sucha szyszek, g / mass of drycone, g

N – liczba nasion, szt. / numer of seeds, pcs.

R – współczynnik determinacji / coefficient of determination

$S_{Sobl}$  – pole powierzchni bocznej liczone z wielomianu kształtu szyszek,  $cm^2$  / area of surface calculated from the polynomial shape of cone,  $cm^2$

$S_{tobl}$  – pole powierzchni bocznej liczone z wielomianu kształtu trzpienia,  $cm^2$  / area of surface calculated from the polynomial shape of stem,  $cm^2$

Wpłynęło: 28.02.2018 r., recenzowano: 23.03.2018 r., zaakceptowano: 18.04.2018 r.

- $u_i$  – zawartość wody w szyszkach / water content in cones  
 $u_k$  – zawartość końcowa wody w szyszkach,  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$  / final content of water in cones,  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$   
 $u_o$  – zawartość początkowa wody w szyszkach,  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$  / initial content of water in cones,  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$   
 $V_{\text{Sobl}}$  – objętość liczona z wielomianu kształtu szyszki,  $\text{cm}^3$  / volume calculated from the polynomial of cone shape,  $\text{cm}^3$   
 $V_{\text{tobl}}$  – objętość liczona z wielomianu kształtu trzpienia,  $\text{cm}^3$  / volume calculated from the polynomial of stem shape,  $\text{cm}^3$   
 $\rho_s$  – gęstość szyszki,  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$  / density of cone,  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$   
 $\rho_t$  – gęstość trzpienia,  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$  / density of stem,  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$   
 $\tau$  – czas, h / time, h

## 1. Wstęp

Jodła pospolita *Abies alba* Mill. jest gatunkiem rosnącym w południowej i środkowej części Polski, osiągając północną granicę swojego zasięgu. Występuje w Karpatach na wysokości od 500 do 1100 m n.p.m., w Górach Świętokrzyskich, w Sudetach, na Roztoczu i innych obszarach kraju, o czym publikowali: Boratyński (1983), Bednarek (2002), Sugiero (2005), Barzdajn (2009), Szeligowski i in. (2011), Bis i Dobrowolska (2012). Jodła pospolita rosnąca w zwarciu zaczyna obradzać w wieku około siedemdziesięciu lat, zaś gdy wzrasta na otwartej przestrzeni – około trzydziestego roku życia (Załęski 1995). Gatunek ten obradza średnio co 3 lub 4 lata. Według Tyszkiewicza (1949) szyszki jodły mają długość od 10 do 17 cm, grubość od 3 do 5 cm, z kolei nasiona ze skrzydełkami pozyskane z szyszek od 10 do 25 mm. Według Gudeckiego (1966) nasiona jodły bez skrzydełek mają długość od 7,5 do 12,5 mm. Szyszki ze Słowacji badane przez Kočiová (1974) miały długość od 7,6 do 19,9 cm, a grubość od 3,0 do 5,2 cm, natomiast Nanu (1977) podaje, że na terenie Rumunii występują szyszki o długości od 7,0 do 19,5 cm i grubości od 2,9 do 4,6 cm. Z kolei Boratyński (1983) zmierzył długość i grubość szyszek jodły, które wynosiły odpowiednio od 10 do 15 cm i od 3 do 5 cm. Podobne wyniki dotyczące grubości szyszek otrzymał Suszka (1983), przy czym długość szyszek dochodziła do 18 cm.

O podstawowych parametrach wielkościowych szyszek, łusek, skrzydełek i nasion jodły pochodzących z różnych regionów i o ich wzajemnych zależnościach pisali również: Gunia, Simak (1968), Czernik (1993), Ballian i Čabaravdić (2005), Tracz i Barzdajn (2007), Politi i in. (2011), Illoul-Hachi i in. (2015).

Wpływ środowiska na populacje jodły oraz hybryd analizowali Kobliha i in. (2014), a zdrowotności nasion Boncaldo i in. (2010).

Szyszki *A. alba* rosną pionowo na gałęzi, a po dojrzeniu rozpadają się na łuski i nasiona, opadające na ziemię, oraz trzpień pozostający na drzewie.

Zbiór szyszek z drzew stojących wykonuje się ręcznie przed całkowitym ich dojrzeniem. Pozyskanie nasion jodły z szyszek nie wymaga stosowania specjalistycznych urządzeń łuszcarskich i wyższych temperatur niż w przypadku świerka pospolitego *Picea abies* (L.) Karst., sosny zwyczaj-

nej *Pinus sylvestris* L. czy modrzewia europejskiego *Larix decidua* Mill. Według „Instrukcji gromadzenia i przechowywania zasobów genowych” (LBGK2007) szyszki jodły po zebraniu umieszcza się w skrzyniach z perforowanym dnem w wentylowanej hali, w której panuje temperatura 20°C. Podczas składowania szyszki są przegarniane, a wysychając częściowo rozsypują się na łuski, nasiona i trzpień. Następnie materiał podlega rozkruszeniu i oddzielaniu w bębnowym odsiewaczu nasion jodły. Proces ten może być zmechanizowany. Od lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku we włoskich lasach państwowych w Dagona di Peri koło Werony oraz w wyluszcarni w Laufen w nadleśnictwie Teisendorf w południowo-wschodniej Bawarii stosuje się urządzenie typu "Tiber", o wysokim stopniu mechanizacji, służące do rozkruszania szyszek (oddzielenia nasion od łusek i trzpienia), odskrzydlania i separacji nasion jodły (Suszka 2000). Obecnie w Polsce nie wykonuje się procesu łuszczenia (obniżenia zawartości wody w szyszkach jodły) w kontrolowanych warunkach temperaturowo-wilgotnościowych, przez co proces suszenia każdej partii nie jest powtarzalny. Łuszczenie szyszek jodły można byłoby przeprowadzić, wykorzystując do tego znajdujące się niemal w każdej wyluszcarni szafy lub komory łuszcarskie. W celu pozyskania dobrych jakościowo nasion jodły niezbędna jest znajomość zarówno budowy szyszek (Aniszewska et al. 2017), jak i parametrów przebiegu procesu łuszczenia.

Celem większości badań dotyczących sosny zwyczajnej, świerka pospolitego czy modrzewia europejskiego było poszukiwanie takich sposobów konwekcyjnego suszenia szyszek, których efektem byłyby możliwie krótki czas trwania procesu, przy zachowaniu dobrej żywotności nasion. Literatura, dotycząca wyluszczenia nasion z szyszek jodły, nie zawiera jednak dostatecznego opisu przebiegu procesu i czynników nim sterujących. Dotychczas nie określono dynamiki zmian wilgotności szyszek jodły pospolitej podczas procesu łuszczenia. Nieznane są więc ani czynniki warunkujące przebieg tych zmian, ani wilgotność szyszek w chwili uzyskania stanu ich otwarcia. Jedną z dróg do poszukiwania optymalnych warunków procesu łuszczenia mogłoby być opracowanie modelu matematycznego opisującego zmianę wilgotności szyszki w czasie w zależności od jej parametrów i temperatury suszącego powietrza. Częścią takiego modelu jest stworzenie opisu zmienności szyszek.

W czasie badań została podjęta próba ustalenia zmienności szyszek na podstawie określenia ich kształtu. Pozwoliło to na opracowanie dokładnego modelu powierzchni i objętości zamkniętych szyszek jodły pospolitej, o czym pisały Aniszewska i Błuszkowska (2016), oraz opisu procesu ich łuszczenia w suszarce laboratoryjnej z wymuszonym obiegiem powietrza. Opracowanie modelu pozwala prognozować zmianę wilgotności szyszek w zależności od ich wielkości, wilgotności początkowej, temperatury suszenia, a przede wszystkim określić czas dochodzenia szyszki do stanu otwarcia i oddzielenia się łusek z nasionami od trzpienia.

Znajomość opisywanych parametrów i charakterystyki zmiany procesu łuszczenia pozwoli optymalizować i normalizować warunki realizacji łuszczenia z uwzględnieniem właściwości badanego materiału w wyluszczeniach gospodarczych.

## 2. Materiał i metody

W badaniach wykorzystano świeże szyszki jodły popolitej zebrane w gospodarczym drzewostanie nasiennym w gminie Ciepeliów w Nadleśnictwie Zwolen (Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Radomiu), z regionu pochodzenia leśnego materiału podstawowego J60.

Każdej ze 120 losowo wybranych szyszek wykonywano zdjęcia (o rozmiarze 3888×2126 pikseli i rozdzielczości 300 dpi) i przeniesiono je do programu Multiscan v. 18, za pomocą którego mierzono długość i grubość czyli największą średnicę szyszki, a dodatkowo sekwencyjnie średnicę 60 sztuk w odstępach co 10 mm, z dokładnością do 0,5 mm. Punkty pomiarowe oznaczono manualnie, po wcześniejszym skalowaniu zdjęć i nałożeniu siatki o wielkości oczka 10 mm × 10 mm. Nie stosowano dodatkowych przekształceń morfologicznych obrazu, wybrano opcję automatyczną. Na podstawie pomiaru długości oraz średnicy obliczono pole powierzchni zewnętrznej i objętość 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.

Dla badanego zbioru ogólne równanie tworzącej kształt szyszki lub trzpienia ma postać:

$$y = As(t)x^4 + Bs(t)x^3 + Cs(t)x^2 + Ds(t)x + Es(t) \quad (1)$$

gdzie:

$x \in (0, h)$ ,

$As(t), Bs(t), Cs(t), Ds(t), Es(t)$  – współczynniki równania kształtu szyszki ( $s$ ) lub trzpienia ( $t$ ).

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

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

gdzie:

$a, b$  – granice,

$dL$  – różniczka krzywej kształtu.

Ponieważ pola podstawy tej bryły są niewielkie, przyjęto, że powierzchnia boczna bryły jest równa powierzchni wewnętrznej szyszki.

Objętość szyszki ( $V_{Sobl}$ ) wyznaczono ze wzoru (3):

$$V_{Sobl} = \pi \int_0^h y^2 \, dx \quad (3)$$

Po wyluszczeniu materiału badawczego, opisaną powyżej metodą, obliczono też pole powierzchni  $S_{tobl}$  i objętość trzpieni szyszek  $V_{tobl}$  (Aniszewska, Błuszkowska 2016).

Powierzchnię zewnętrzną i objętość szyszek obliczono również drugim sposobem, stosując powszechnie znane wzory na powierzchnię boczną i objętość walca ( $S_{S_w}, V_{S_w}$ ). W celu porównania obliczonych wartości objętości i pola powierzchni wprowadzono wskaźniki zgodności:  $ks_1 = V_{Sobl}/V_{S_w}$ ,  $ks_2 = S_{Sobl}/S_{S_w}$ . Aby zastosować model walca do obliczenia objętości dowolnej szyszki, traktując objętość i pole powierzchni szyszki obliczonej z krzywej tworzącej jako objętość rzeczywistą (Aniszewska, Błuszkowska 2016), należy otrzymane wartości pomnożyć przez wskaźniki  $ks_1$  i  $ks_2$ . Analogicznie, chcąc zastosować wzór na walec do obliczenia pola powierzchni ( $S_{t_w}$ ) i objętości trzpienia ( $V_{t_w}$ ), należy otrzymane wyniki pomnożyć odpowiednio przez współczynniki  $kt_2$  i  $kt_1$ .

Do analizy parametrów zewnętrznych wykorzystano opis statystyczny wykonany za pomocą programu Statistica 10 (StatSoft Inc. 2011). Średnie pola powierzchni i objętości porównano testem t, 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 0,05.

Do pomiaru masy początkowej i masy suchej substancji szyszek użyto wagi laboratoryjnej WPS 600 o dokładności do 0,01 g. Masę suchej substancji określano po zakończeniu procesu łuszczenia, susząc szyszkę (łuski i trzpień) bez nasion metodą suszarkowo-wagową, stosowaną do drewna, w temperaturze 103±2°C aż do ustalenia się stałej masy (Kubiak, Laurow 1994). W badaniach określono liczbę łusek ( $I$ ) znajdujących się na szyszce, ich masę oraz liczbę ( $N$ ) i masę nasion, trzpienia oraz gęstość zamkniętych szyszek  $\rho_s$  (jako stosunek masy początkowej szyszki do jej objętości  $V_{Sobl}$ ) i trzpienia  $\rho_t$  (jako stosunek masy trzpienia do  $V_{tobl}$ ).

Procesowi suszenia w suszarce laboratoryjnej Heraeus UT 6120 z wymuszonym obiegiem powietrza, zapewniającej utrzymanie stałej temperatury poddano 60 wybranych losowo szyszek. Początkowo suszono je przez 5 godzin w temperaturze 25°C, a następnie w 35°C, przy wilgotności powietrza zmniejszającej się od 53% do 10%. Podczas procesu pojedyncze szyszki znajdowały się na rusztach wewnątrz suszarki. Ubytek masy, wilgotność i temperaturę powietrza wewnątrz suszarki rejestrowano w odstępach początkowo co 60 min (± 5 min), a później, co 120 min, z przerwą nocną ok. 8 h. Temperaturę powietrza mierzono z dokładnością 0,01°C, a wilgotność – 0,01% za pomocą miernika FTH 100 (Qeo FENNEL).

Podczas łuszczenia szyszek mierzono ich chwilową masę  $m_i$  w podanych odstępach czasowych, co – po ustaleniu suchej substancji  $m_s$  – pozwoliło określić chwilową zawartość w nich wody  $u_i$  (nazywaną też wilgotnością szyszki) jako stosunek masy wody  $m_{H_2O}$  do masy suchej szyszki  $m_{S_s}$ . Do opisu zmian zawartości wody w szyszkach podczas łuszczenia w suszarce przyjęto równanie wykładnicze odpowiadające, zgodnie z hipotezą pierwszą, drugiemu okresowi suszenia ciał stałych:

$$u = (u_o - u_k) \cdot \exp(-b \cdot \tau) + u_k \quad (4)$$

gdzie:

$u_o$  – zawartość początkowa wody,

$u_k$  – zawartość końcowa wody,  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$ ,

$\tau$  – czas, h,

$b$  – współczynnik charakterystyczny szyszki,  $1 \cdot \text{h}^{-1}$ ,

$\exp$  – podstawa logarytmu naturalnego ( $e=2,718$ ).

Wartość współczynnika  $b$  (Aniszewska 2008, 2012) wyznaczono dla każdej szyszki na podstawie rzeczywistego przebiegu zmian wilgotności z następującego wzoru:

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\ln \frac{u_i - u_k}{u_o - u_k}}{\tau_i} \quad (5)$$

gdzie:

$n$  – liczba odczytów wartości masy szyszki  $m_i$ ,

$\tau_i$  – czas luszczania.

Tak uśredniony współczynnik  $b$  przyjęto jako charakterystyczny parametr modelu matematycznego procesu zmian wilgotności szyszek. W pracy badana była zależność tego współczynnika od parametrów wielkościowych (długości i grubości) szyszki.

Charakterystycznymi parametrami modelu matematycznego są też początkowa zawartość wody w szyszce  $u_o$  i końcowa zawartość wody rejestrowanego procesu  $u_k$ . Na ich wartość mają wpływ założone warunki realizacji procesu luszczania. Wartość  $u_o$  można zmienić przez poddanie szyszki wstępnemu podsuszaniu, natomiast wartość  $u_k$  zależy od warunków suszenia.

Szybkość suszenia (ubytku wilgoci szyszki względem czasu) obliczono jako pochodną względem czasu wilgotności  $u_i$ :

$$\frac{du}{d\tau} = -b \cdot (u_o - u_k) \cdot \exp(-b \cdot \tau) \quad (6)$$

Zarejestrowane podczas eksperymentów zmiany wilgotności szyszek opisano równaniami matematycznymi, a ich adekwatność zweryfikowano metodami statystycznymi. Zależności funkcyjne były podstawą do analizy wpływu parametrów wielkościowych szyszek na przebieg procesu luszczania i czasu doprowadzenia ich do stanu otwarcia.

Do sprawdzenia założonych warunków wyluszczania nasion wykonano ocenę ich żywotności (zdolności i energii kiełkowania) wg normy BN-76/9211-02 oraz Załęskiego i in. (2006). Nasiona jodły wysiewano na bibule na kiełkowniku Jacobsena w trzech powtórzeniach po 100 szt. i przetrzymywano je w temperaturze zmiennej w zakresie 20–30°C, po wcześniejszym 21 dniowym chłodzeniu w 3–5°C. Obserwacje energii kiełkowania wykonano po 14 dniach, a zdolności kiełkowania po 28 dniach od wysiania.

### 3. Wyniki badań

#### 3.1. Parametry charakterystyczne szyszek

Długość ( $h$ ) badanych 120 szyszek jodły pospolitej zawierała się w granicach od 12,40 do 19,70 cm, średnio 15,96

cm (odchylenie standardowe  $\pm 1,66$  cm), a ich grubość ( $d$ ) od 2,90 cm do 5,07 cm, średnio 3,93 ( $\pm 0,42$ ) cm. Analiza statystyczna dla badanej partii wykazała istotną słabą zależność liniową między grubością a długością szyszek (7).

$$d_s = 3,048 + 0,0554 \cdot h_s \quad R=0,218 \quad (7)$$

W tabeli 1 zamieszczono wartości długości ( $h_s$ ) i grubości ( $d_s$ ) szczegółowo badanych 60 szyszek jodły pospolitej. Długość szyszek zawierała się w granicach od 12,93 do 19,25 cm, średnio 15,97 cm (odchylenie standardowe  $\pm 1,46$  cm), a grubość od 3,75 cm do 5,07 cm, średnio 4,34 ( $\pm 0,39$ ) cm.

Masa zamkniętych świeżych szyszek średnio wynosiła 109,73 ( $\pm 23,72$ ) g i zawierała się w granicach od 71,65 do 158,62 g (tab. 1). Średnia wilgotność początkowa szyszek wynosiła 112%, a ich gęstość od 0,52  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$  do 0,73  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , średnio 0,63 ( $\pm 0,06$ )  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

Trzpienie szyszek pozyskane po luszczaniu średnio miały długość 14,88 ( $\pm 1,42$ ) cm, a grubość mierzona w środku długości wynosiła 0,64 ( $\pm 0,06$ ) cm, przy czym grubość maksymalna przy ogonku szyszki – średnio 1,11 ( $\pm 0,21$ ) cm (tab. 2). Nie wykazano istotnej liniowej zależności między długością i grubością trzpienia. Gęstość trzpienia średnio wynosiła 0,44  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$  i była mniejsza o 0,19  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$  od gęstości liczonej dla zamkniętej szyszki.

#### 3.2. Powierzchnia i objętość zamkniętych szyszek oraz trzpienia

Wybrano wielomian czwartego stopnia jako dobrze odwzorowujący kształt szyszek. Wybór ten uzasadnia wysoki współczynnik determinacji, który zawierał się w granicach od 0,959 do 0,997, średnio 0,981. Wielomian trzeciego stopnia wykazał współczynnik istotnie niższy, a piątego porównywalny do podanego czwartego stopnia (nieróżniący się istotnie).

Średnie (wraz z odchyleniem standardowym), minimalne i maksymalne wartości współczynników od  $As$  ( $At$ ) do  $Es$  ( $Et$ ) podano w tabeli 3 i 4. Przykładowy przebieg zmian krzywej tworzącej dla szyszki i trzpienia pokazano na rycinie 1, a poniżej przedstawiono ich opis matematyczny (8) i (9).

Szyszka:

$$r_s = -0,00029 \cdot h_s^4 + 0,01031 \cdot h_s^3 - 0,12944 \cdot h_s^2 + 0,64571 \cdot h_s + 1,21638$$

$$R = 0,993 \quad (8)$$

Trzpień:

$$r_t = 0,00007 \cdot h_t^4 - 0,00288 \cdot h_t^3 + 0,03839 \cdot h_t^2 - 0,20675 \cdot h_t + 0,70108$$

$$R = 0,967 \quad (9)$$

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

Duża zmienność współczynników  $As$ ,  $Bs$ ,  $Cs$  i  $Es$  wielomianu dla poszczególnych szyszek powoduje, że mimo istotnych zależności od długości nie ma możliwości prak-

**Tabela 1. Charakterystyczne parametry szyszek jodły pospolitej**

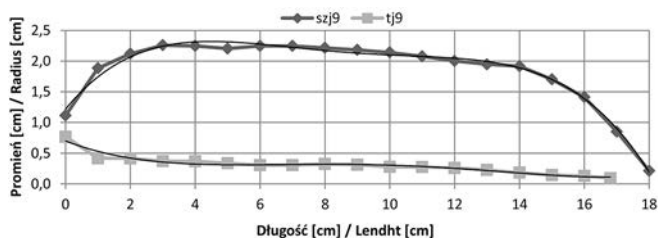
Table 1. Parameters characterizing fir cones

Dane Data	Średnia Mean	Min Min	Maks Max	Rozstęp Range	Warian- cja Variance	Odch. stand. Std. deviation	Wsp. zmn. Coeffi- cient of variation	Stan- dard. błąd Std. error	Skośność Skewness	Kurtoza Kurtosis
<b>Długość</b> Length $h_s$ [cm]	15,97	12,93	19,25	6,31	2,12	1,46	9,11	0,27	0,26	-0,15
<b>Grubość maks</b> Thickness max $d_s$ [cm]	4,34	3,75	5,07	1,32	0,15	0,39	8,93	0,07	0,07	-1,17
<b>Masa początkowa</b> Initial weight $m_{s_s}$ [g]	109,73	71,65	158,62	86,97	562,80	23,72	21,62	0,58	-0,62	109,73
<b>Gęstość</b> Density $\delta_s$ [g·cm <sup>-3</sup> ]	0,63	0,52	0,73	0,20	0,00	0,06	9,23	0,20	-0,91	0,63
<b>Liczba łusek</b> Number of scales $l$	184,13	140,00	229,00	89,00	406,33	20,16	10,95	0,44	0,45	184,13
<b>Liczba nasion</b> Number of seeds $N$	268	195	357	170	1965,95	44	16,52	8,10	0,44	-0,37

**Tabela 2. Charakterystyczne parametry trzpienia jodły pospolitej**

Table 2. Parameters characterizing the stem of fir cones

Dane Data	Średnia Mean	Min Min	Maks Max	Rozstęp Range	Warian- cja Variance	Odch. stand. Std. deviation	Wsp. zmn. Coeffi- cient of variation	Stan- dard. błąd Std. error	Skośność Skewness	Kurtoza Kurtosis
<b>Długość</b> Length $h_t$ [cm]	14,88	11,14	17,33	6,19	2,01	1,42	10,21	0,26	0,49	-0,11
<b>Grubość</b> Thickness $d_t$ [cm]	0,64	0,48	0,72	0,24	0,004	0,06	9,84	0,01	-0,85	0,38
<b>Grubość przy podstawie szyszki</b> Thicknes [cm]	1,11	0,75	1,53	0,78	0,04	0,21	18,17	0,034	0,67	-0,18
<b>Masa sucha</b> Dry weight $m_t$ [g]	1,94	1,19	3,27	2,08	0,20	0,44	22,71	0,08	1,33	3,35
<b>Gęstość</b> Density $\delta_t$ [g·cm <sup>-3</sup> ]	0,44	0,28	0,78	0,50	0,01	0,10	21,86	0,02	1,51	4,56



Rycina 1. Wykres przykładowej krzywej tworzącej szyszki i trzypienia jodły pospolitej

Figure 1. Graph of an exemplary generatrix of fir cone and cone stem

tycznego zastosowania wzoru do obliczenia objętości i pola powierzchni dowolnej szyszki jodły, gdy znane są jedynie jej podstawowe parametry wielkościowe. Dla współczynnika  $E_s$

nie wykazano istotnej zależności od długości szyszki, co potwierdziły Aniszewska i Błuszkowska (2016).

Ocena statystyczna współczynników równań regresji opisujących kształt trzypienia  $At-Et$  nie wykazała istotnych zależności od długości i grubości trzypienia.

Wartości pola powierzchni szyszki ( $S_{s_{obl}}$ ), obliczone ze wzoru 2, wynosiły od 134,18 cm<sup>2</sup> do 242,89 cm<sup>2</sup>, średnio 180,30(±24,01) cm<sup>2</sup>, a objętości ( $V_{s_{obl}}$ ), według wzoru 3, od 108,77 cm<sup>3</sup> do 258,99 cm<sup>3</sup>, średnio 175,70(±35,98) cm<sup>3</sup> (tab. 3).

Wartości pola powierzchni szyszki ( $S_{s_w}$ ) liczone według wzorów na walec wynosiły od 158,86 cm<sup>2</sup> do 268,79 cm<sup>2</sup>, średnio 217,13(±26,56) cm<sup>2</sup>, a objętości ( $V_{s_w}$ ) od 155,23 cm<sup>3</sup> do 311,41 cm<sup>3</sup>, średnio 236,67(±45,07) cm<sup>3</sup> (tab. 3).

Wartość wskaźnika  $ks_1$ , zawierała się w granicach od 0,65 do 0,89 średnio 0,74(±0,05), a wartość wskaźnika  $ks_2$  od 0,65 do 0,93 średnio 0,83(±0,05). Zastosowanie uśrednio-

Tabela 3. Podstawowe wartości statystyczne wielomianu, objętości, pola powierzchni i wskaźników szyszek

Table 3. Basic statistical values of polynomial, volume, surface area and indicators of cones

Dane Data	Średnia Mean	Min Min	Maks Max	Rozstęp Range	Warian- cja Variance	Odch. stand. Std. deviation	Wsp. zmn. Coeffi- cient of variation	Stan- dard. błąd Std. error	Skośność Skewness	Kurtoza Kurtosis
$A_s$	-0,0006	-0,0013	-0,0003	0,0010	0	0,00023	-40,26	0,000042	-0,67	0,86
$B_s$	0,0182	0,0092	0,0325	0,0233	0	0,00586	32,17	0,001069	0,17	-0,46
$C_s$	-0,2082	-0,2996	-0,1239	0,1757	0,0030	0,05124	-24,61	0,009355	0,20	-1,17
$D_s$	0,9728	0,6457	1,2831	0,6374	0,0310	0,17577	18,07	0,032091	-0,11	-0,96
$E_s$	0,5998	0,3356	1,2164	0,8808	0,0290	0,17085	28,48	0,031193	1,88	5,17
<b>Objętość</b> Volume $V_{s_{obl}}$ [cm <sup>3</sup> ]	175,70	108,77	258,99	150,22	1294,73	35,98	20,48	6,57	0,29	-0,23
<b>Pole powierzchni</b> Surface area $S_{s_{obl}}$ [cm <sup>2</sup> ]	180,30	134,18	242,89	108,70	576,48	24,01	13,32	4,38	0,46	0,72
<b>Objętość</b> Volume $V_{s_w}$ [cm <sup>3</sup> ]	236,67	155,23	311,41	156,18	2030,97	45,07	19,04	8,23	0,02	-0,95
<b>Pole powierzchni</b> Surface area $S_{s_w}$ [cm <sup>2</sup> ]	217,13	158,86	268,79	109,93	705,59	26,56	12,23	4,85	-0,11	-0,11
<b>Wskaźnik</b> Indicator $ks_1$	0,74	0,65	0,89	0,24	0,00	0,05	7,36	0,01	0,69	0,51
<b>Wskaźnik</b> Indicator $ks_2$	0,83	0,65	0,93	0,29	0,00	0,05	6,10	0,01	-1,40	5,50

nych wskaźników  $ks_1$  i  $ks_2$  do obliczenia objętości i pola powierzchni szyszki jodły wykazało brak istotnych różnic między wartościami  $V_{s_{obl}}$  i  $S_{s_{obl}}$ , co potwierdził test t dla prób zależnych ( $p=0,817$  i  $p=0,970$ ) oraz analiza wariancji ( $p=0,950$ ;  $F=0,0039$  i  $p=0,989$ ;  $F=0,0002$ ).

Wartości pola powierzchni trzpienia ( $St_{obl}$ ) obliczone ze wzoru 2, wynosiły od 17,61 cm<sup>2</sup> do 36,02 cm<sup>2</sup>, średnio 26,46(±4,66) cm<sup>2</sup> a objętości ( $Vt_{obl}$ ), według wzoru 3, od 2,40 cm<sup>3</sup> do 6,92 cm<sup>3</sup>, średnio 4,51(±1,11) cm<sup>3</sup> (tab. 4). Stosując podobieństwo trzpienia do bryły walca, średnio pole powierzchni wynosi 27,81 cm<sup>2</sup>, a objętość 4,48 cm<sup>3</sup>. Test T dla prób zależnych wykazał istotne różnice między  $St_{obl}$  a  $St_w$  ( $p=0,043$ ), a nie wykazał różnic między  $Vt_{obl}$  a  $Vt_w$  ( $p=0,855$ ). Średnio trzpień stanowi 2,59(±0,52)% objętości zamkniętej szyszki, jest średnio krótszy od szyszki o 1,09(±0,51) cm i stanowi 3,87(±0,67)% jej suchej substancji.

### 3.3. Proces luszczania szyszek jodły, pozyskanie i ocena nasion

Całkowity czas luszczania szyszek wynosił 35 h. Temperatura suszenia maksymalnie wynosiła 35°C, a wilgotność powietrza wewnątrz suszarki zmniejszała się od 53% do 10%.

Na rycinie 2 zaprezentowano zmianę zawartości wody i szybkość suszenia w czasie dla wybranej szyszki. Opis matematyczny przebiegu procesu przedstawiają równania zawartości wody ( $u$ ) i szybkości (dynamiki) suszenia ( $du \cdot dt^{-1}$ ) szyszek w czasie, opisane według wzorów 4 i 6. Przykładowe równanie modelowe  $u$  dla wybranej szyszki podano poniżej:

$$u = 1,038 \cdot e^{-0,080 \cdot \tau} + 0,084; \quad (10)$$

(dla  $u_0 = 1,122 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$ ,  $u_k = 0,084 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$ ,  $b = 0,080 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ )

$$du \cdot dt^{-1} = -0,083 \cdot e^{-0,080 \cdot \tau}; \quad (11)$$

a liniowa postać równania szybkości suszenia od wilgotności szyszki to:

$$du \cdot dt^{-1} = -0,080 \cdot (u - 0,084) \quad (12)$$

W tabeli 5 przedstawiono średnie, minimalne i maksymalne wartości poszczególnych parametrów równań. Szyszki jodły miały średnio początkową zawartość wody 1,127  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$ , a końcową według modelu 0,115  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$ . Współczynnik  $b$  wynosił średnio 0,065  $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ . Wyznaczono liniową zależność między współczynnikiem  $b$  i grubością szyszki ( $R=0,441$ ), a jej brak między tym współczynnikiem a długością. Przy doborze szyszek o podobnych właściwościach wymiany masy należałoby się posłużyć przy ich selekcji grubością szyszek, jako parametrem bardziej jednoznacznie niż długość wpływającym na zmiany współczynnika  $b$ . Zauważono, że im wyższa była wartość współczynnika  $b$ , tym proces suszenia przebiegał szybciej (szyszki intensywniej zmniejszały wilgotność).

W większości przypadków końcowa rzeczywista zawartość wody nie równała się końcowej modelowej zawartości wody, różnica między nimi wynosiła średnio 11(±5,6)%. Test T wykazał istotną różnicę między nimi ( $p<0,05$ ).

Dla rzeczywistych wartości zmiany zawartości wody podczas suszenia zaproponowano inne równanie wykładnicze

**Tabela 4. Podstawowe wartości statystyczne wielomianu, objętości, pola powierzchni i wskaźników trzpieni**

Table 4. Basic statistical values of polynomial, volume, surface area and indicators of cone stems

Dane Data	Średnia Mean	Min Min	Maks Max	Rozstęp Range	Warian- cja Variance	Odch. stand. Std. deviation	Wsp. zmn. Coeffi- cient of variation	Stan- dard. błąd Std. error	Skośność Skewness	Kurtoza Kurtosis
At	0,0001	-0,0002	0,0002	0,0004	0	0,0001	142,41	0,000014	-1,40	4,30
Bt	-0,0020	-0,0052	0,0054	0,0106	0	0,0022	-110,33	0,000395	1,22	3,28
Ct	0,0225	-0,0435	0,0535	0,0970	0	0,0206	91,78	0,003767	-0,96	2,04
Dt	-0,1102	-0,2350	0,1016	0,3367	0,006	0,0774	-70,21	0,014128	0,45	0,34
Et	0,5293	0,3708	0,7547	0,3839	0,009	0,0955	18,04	0,017436	0,67	-0,15
$Vt_{obl}$ [cm <sup>3</sup> ]	4,51	2,40	6,92	4,53	1,23	1,11	24,62	0,20	0,13	-0,30
$St_{obl}$ [cm <sup>2</sup> ]	26,46	17,61	36,02	18,40	21,72	4,66	17,62	0,85	0,11	-0,09
$Vt_w$ [cm <sup>3</sup> ]	4,48	2,25	5,75	3,50	0,80	0,89	19,96	0,16	-0,79	-0,06
$St_w$ [cm <sup>2</sup> ]	27,81	18,74	35,39	16,64	13,82	3,72	13,37	0,69	-0,53	0,42
$kt_1$	1,02	0,68	1,52	0,83	0,05	0,22	21,63	0,04	0,72	-0,21
$kt_2$	0,95	0,73	1,20	0,47	0,02	0,12	12,89	0,02	0,45	-0,26

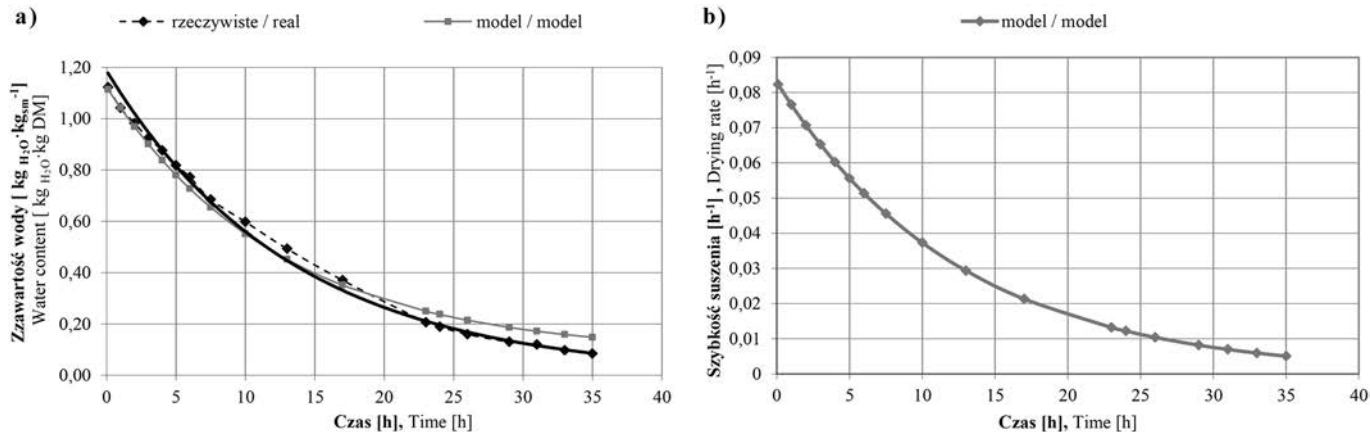
według Statistica 10 (13). Wykres opisujący równanie zamieszczono na rycinie 2a.

$$u = 1,187 \cdot e^{(-0,075 \cdot \tau)} \quad (13)$$

Ustalono istotną zależność liniową między końcową  $u_k$  a początkową  $u_o$  zawartością wody. Oceniając zakres zmiany

zawartości wody w szyszkach dla całego procesu, czyli różnicę między początkową a końcową jej zawartością, można zauważyć, że najwięcej procentowo szyszek (63,3%) mieściła się w przedziale od 0,900 do 1,100  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m}}^{-1}$ .

Na rycinie 3 pokazano zmianę zawartości wody w czasie suszenia szyszek o początkowej zawartości wody 0,872



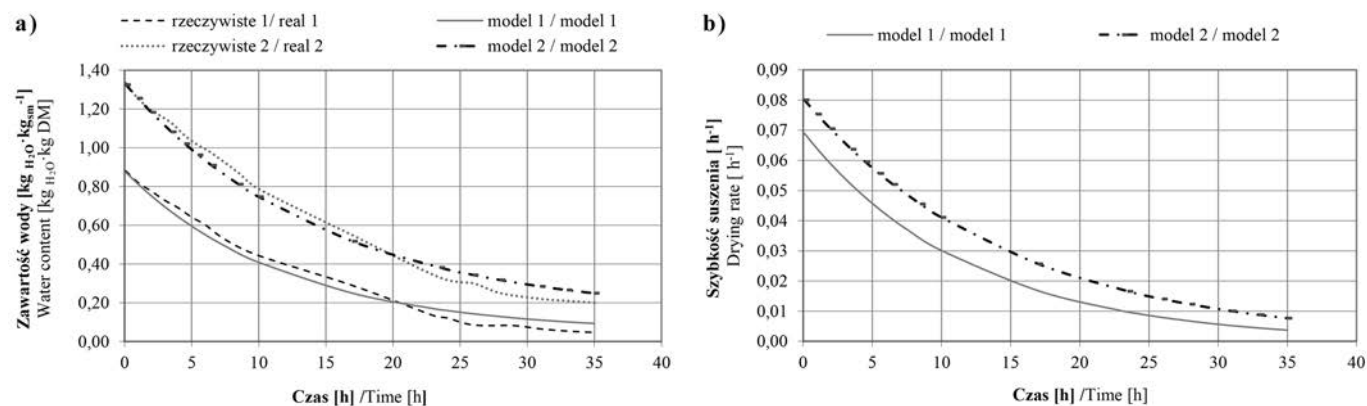
Rycina 2. Wykresy: a – zmiana zawartości wody w czasie wybranych szyszek (rzeczywisty, modelowy, wykładniczy), b – szybkość (dynamika) suszenia

Figure 2. Graphs: a – change in water content over time for selected cones (real, model, exponential), b – speed (dynamics) of drying

Tabela 5. Podstawowe wartości statystyczne parametrów równania zmiany zawartości wody i szybkości suszenia

Table 5. Basic statistical values of the parameters of the equation for changing of the water content and the drying rate

Dane Data	Średnia Mean	Min Min	Maks Max	Rozstęp Range	Warian- cja Variance	Odch. stand. Std. deviation	Wsp. zmn. Coeffi- cient of variation	Stan- dard. błąd Std. error	Skośność Skewness	Kurtoza Kurtosis
$u_o$	1,127	0,869	1,338	0,470	0,017	0,131	11,605	0,024	-0,221	-0,319
$u_k$	0,115	0,036	0,248	0,232	0,003	0,053	46,178	0,097	0,327	0,019
b	0,065	0,040	0,100	0,060	0,000	0,015	22,283	0,003	0,612	-0,300



Rycina 3. Wykresy: a – zmiana w czasie zawartości wody w szyszkach o różnej zawartości (1 – większej, 2 – mniejszej) wody (rzeczywisty i modelowy), b – szybkość suszenia

Figure 3. Graphs: a – water content in time for cones with different water content (1 – street, 2 – smaller), real and modeled, b – drying rate



i  $1,325 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m}}^{-1}$  i końcowej odpowiednio  $0,049$  i  $0,185 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m}}^{-1}$  oraz współczynnika  $b$  równym  $0,084$  i  $0,075 \text{ h}^{-1}$ . W czasie 35 h, wystarczającym do pozyskania nasion, wilgotność szyszek zmniejszyła się o ok. 80% dla pierwszej krzywej suszenia (zawartość wody  $-0,08 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m}}^{-1}$ ) i o 115% dla drugiej ( $1,15 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m}}^{-1}$ ). Szybkość suszenia szyszek, czyli ubytek wody z szyszek, była od początku malejąca, co jest charakterystyczne dla opisywanego w literaturze tzw. drugiego okresu suszenia ciał stałych (Pabis 1982).

Po procesie łuszczenia szyszki rozpadły się na łuski, nasiona i trzpień. Liczba łusek w szyszce wynosiła od 140 do 229, średnio  $184(\pm 20,15)$ , a liczba nasion średnio  $268(\pm 44)$  (tab. 1). Wykazano istotną liniową zależność między liczbą łusek a liczbą pozyskanych nasion ( $R=0,750$ ). Średnio masa pozyskanych nasion z szyszki wynosiła 16,6 g, z czego wynika, że masa 1000 nasion to średnio 62 g.

Przeprowadzona ocena jakości nasion wykazała, że nasiona jodły po procesie suszenia wykiełkowały w 32% w czasie 28 dni, z czego 21% w czasie 14 dni od wysiania. Według norm, nasiona jodły zaliczane są do I klasy jakości, gdy osiągną od 61 do 80%. Otrzymany wynik świadczy, że badanych nasion nie można zaliczyć do pierwszej klasy jakości. Dlatego w celu sprawdzenia oddziaływania zaproponowanego procesu łuszczenia na szyszki jodły i pozyskane z nich nasiona wykonano próbę kontrolną oceny żywotności nasion pozyskanych z szyszek niepoddanych suszeniu w suszarce. Otrzymano podobne wyniki żywotności, bowiem w ciągu 28 dni wykiełkowało zaledwie 35% nasion.

#### 4. Dyskusja

Porównując wyniki parametrów zewnętrznych badanych szyszek jodły, zauważono, że mieszczą się one w granicach podawanych przez innych autorów. Najbardziej zbliżone były do parametrów dla szyszek jodły z Rumunii (Nanu 1977), które miały długość od 7,0 do 19,5 cm, a grubość od 2,9 do 4,6 cm. Podobne wyniki podała także Kočiová (1974), opisując szyszki ze Słowacji. Z kolei wyniki masy 1000 nasion jodły przewyższały wartości opisane przez Antosiewiczą (1970) średnio ok. 12 g.

Dzięki znajomości długości i grubości szyszki można obliczyć pole powierzchni i objętości szyszki zamkniętej. Zaproponowany model, w postaci wielomianu czwartego stopnia, posłużył jedynie do opisu kształtu szyszki i do obliczenia pola powierzchni oraz objętości konkretnych szyszek. Próba zastosowania tego wielomianu dla innych szyszek z partii, przy wykorzystaniu uśrednionych wartości współczynników równania  $A_s, B_s, C_s, D_s, E_s$ , nie powiodła się, bo uzyskano znacznie zawyżone wyniki. Zaproponowany drugi sposób obliczania pola powierzchni i objętości szyszki jodły jako walca okazał się bardziej przydatny. Możliwe jest łatwe zastosowanie go do szyszek z innych partii poprzez określenie odpowiednich współczynników (dla badanej partii szyszek wynosiły one 0,74 dla objętości i 0,83 dla powierzchni). Dodatkowo określono, że trzpień szyszki stanowi ok. 2,6% objętości szyszki zamkniętej, a jego masa stanowi ok. 4% masy suchej szyszki.

Podobne badania prowadzone dla innego pochodzenia jodły pospolitej czy innych gatunków, tj. sosny zwyczajnej i świerka pospolitego określiły sposób obliczania pola powierzchni i objętości ze wzorów na stożek (Gawart, Miłkaszewicz 2000; Aniszewska 2001; Aniszewska, Błuszkowska 2016), jednak odwzorowanie walcowe daje lepsze wyniki.

Badane wartości pola powierzchni i objętości oraz opisane zmiany zawartości wody i krzywe szybkości suszenia mogą być wykorzystane przy tworzeniu i programowaniu cieplnych procesów łuszczenia w szafach łuszcarskich w warunkach gospodarczych w celu pozyskania dobrych jakościowo nasion.

Zaproponowane warunki wewnątrz komory suszenia, czyli temperatura powietrza do  $35^\circ\text{C}$  i wilgotność w ostatniej fazie suszenia do 10%, pozwalają pozyskać żywotne nasiona, o czym świadczy przeprowadzona próba kiełkowania nasion. Wskazane jest jednak dodatkowe sprawdzenie jakości nasion przy zastosowaniu innych metod na przykład próby krojenia czy barwienia zarodków w roztworze tetrazoliny. Nasiona jodły są bardzo wrażliwe na zmiany temperatury i wilgotności podczas wyłuszczenia, przygotowywania do przechowywania i samego przechowywania (Załęski et al. 2009). Według informacji uzyskanych z SON w Sękocinie nasiona, które w próbie barwienia zarodków w roztworze tetrazoliny mają wysoką żywotność (kilkadziesiąt procent), w próbie kiełkowania często kiełkują na poziomie tylko kilku procent. Według Załęskiego (1995) średnia żywotność nasion jodły pospolitej w Polsce, oznaczona próbą krojenia, wynosi 43,3%. Otrzymany niski wynik żywotności nasion może być związany ze stanem fizycznym i składem biochemicznym samych nasion (Aniśko et al. 2001), a to z kolei jest związane ze stadium ich dojrzałości oraz warunkami atmosferycznymi panującymi w czasie zawiązywania i wykształcania się nasion.

Przedstawione badania parametrów wielkościowych, masy, procesu suszenia, w tym zmiany zawartości wody i oceny jakości można traktować jako pilotażowe. Ich wyniki należałoby potwierdzić poprzez przeprowadzenie doświadczeń na szyskach z różnych pochodzeń i lat pozyskania.

#### 5. Wnioski

Kształt szyszki jodły pospolitej wystarczająco dokładnie opisuje krzywa będąca wielomianem czwartego stopnia. Jednakże ze względu na duże różnice w wartościach uśrednionych wielomianu i wartościach rzeczywistych szyszek opisu tego nie można wykorzystać do obliczenia objętości oraz pola powierzchni dowolnej szyszki, mimo istotnej zależności od długości i grubości szyszki (poza współczynnikiem  $D$ ).

Ogólnym modelem obliczeniowym opisującym pole powierzchni i objętość szyszek jodły pospolitej może być wzór na walec. Wartości objętości wyliczone za pomocą wzoru na walec należy dla badanej partii szyszek pomnożyć przez wartość stałą, wynoszącą 0,74, a w przypadku pola powierzchni

przez 0,83. Dla innych partii szyszek można spodziewać się niewielkich zmian wielkości tych współczynników.

Zmianę masy szyszki w procesie łuszczenia w funkcji czasu opisuje równanie wykładnicze, w którym parametrami są zawartość początkowa wody w szyszce – średnio  $1,127 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$ , zawartość końcowa wody –  $0,115 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{s.m.}}^{-1}$  i współczynnik potęgowy  $b$  równy  $0,065 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Wilgotność końcowa zależy od wilgotności początkowej szyszki, a jej wartość zwiększa się wraz z wilgotnością początkową. Współczynnik  $b$  zależy od grubości szyszki i zmniejsza się wraz ze wzrostem grubości szyszki, co można opisać równaniem regresji liniowej.

Nasiona pozyskane w badanym procesie łuszczenia w temperaturze suszenia do  $35^\circ\text{C}$  i wilgotności do 10% nie osiągnęły pierwszej klasy jakości nasion. Wykonana próba kontrolna oceny żywotności nasion tego samego pochodzenia nie poddanych łuszczeniu dała podobne wyniki. Dlatego nie można wykluczyć stosowania zautomatyzowanego procesu łuszczenia szyszek jodły w badanych warunkach temperaturowo-wilgotnościowych.

## Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów

## Podziękowania i źródła finansowania

Badania sfinansowano ze środków własnych Wydziału Inżynierii Produkcji SGGW w Warszawie. Badania przeprowadzono w laboratorium Zakładu Mechanizacji Leśnictwa.

## Literatura

Aniszewska M. 2001. Zmienność podstawowych parametrów szyszki świerka. *Sylwan* 145(6): 87–93.

Aniszewska M. 2008. Charakterystyka wielofazowego procesu wyluszczenia nasion modrzewia europejskiego *Larix decidua* Mill. na przykładzie wyluszczeniarni gospodarczej w Czarnej Białostoczek. *Leśne Prace Badawcze* 69(2): 155–163.

Aniszewska M. 2012. Porównanie procesu wyluszczenia nasion sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z szyszek całych i pozabawionych trzpienia. *Leśne Prace Badawcze* 73(1):65–72. DOI 10.2478/v10111-012-0007-3.

Aniszewska M., Błuszkowska U. 2016. Variability of silver fir (*Abies alba* Mill.) cones – variability of cone parameters. *Leśne Prace Badawcze* 77(3): 221–229. DOI 10.1515/frp-2016-0024.

Aniszewska M., Gendek A., Śliwińska J. 2017. Variability of silver fir (*Abies alba* Mill.) cones – variability of scale surface area. *Leśne Prace Badawcze* 78(1): 5–13. DOI 10.1515/frp-2017-0001.

Aniśko E., Witkowska O., Załęski A. 2001. Ustalenie wilgotności nasion przeznaczonych do przechowywania (wartości graniczne), szczególnie jodły, jaworu, brzozy, olszy czarnej, lipy, jesionu i innych. Sprawozdanie naukowe IBL, 39 s.

Antosiewicz Z. 1970. Nasiennictwo. w: *Poradnik Leśnika* (red. Kamiński E). SITLiD, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa 306-330.

Ballain D., Čabaravdić A. 2005. Međupopulacijskavarijabilnostnekih morfoloških svojstava obične jele (*Abies alba* Mill.) izsredišnje Bosne. *Rad. Šumar. Inst.* 40(1):5–18.

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. *Leśne Prace Badawcze* 73(4): 273–282. DOI 10.2478/v10111-012-0020-6.

Boratyński A. 1983. Systematyka i geograficzne rozmieszczenie jodły, w: Białobok S. (red.) *Jodła pospolita (Abies alba* Mill.). PWN, Warszawa–Poznań, 41–86. ISBN 83-01-04028-9.

Boncaldo E., Bruno G., Sicoli G., Tommasi F., Mastropasqua L. 2010. Germinability and fungal occurrence in seeds of *Abies alba* Mill. populations in southern Italy. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* 144(3): 740–745. DOI 10.1080/11263501003755549.

Czernik Z. 1993. Badania właściwości geometrycznych nasion jodły. *Sylwan* 8: 57–64.

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 semeno i na šišarkite na elata (*Abies alba* Mill.) od nacionalniot park „Risnak”. *Godišen Zbornik na Zemjodelsko-Šumarskiot Fakultet na Univerzitetot – Skopje* 19: 187–215.

Gunia S., Simak M. 1968. Effect of damaging resin vesicles in the seed coat on the germination of silver fir (*Abies alba* Mill.) seeds, in: Proceedings of the International Symposium on Seed Physiology of Woody Plants. Kórnik, Poland, Institute of Dendrology and Kórnik Arboretum, Polish Academy of Sciences, 79–83.

LBGK. 2007. Instrukcja gromadzenia i przechowywania zasobów genowych. Leśny Bank Genów Kostrzyca.

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.

Kobliha J., Škorpík P., Stejskal J., Češka P. 2014. Hybridization results using the hybrid *Abies cilicica* × *Abies cephalonica*. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 13(4): 23–31.

Kočíová M. 1974. Dedivost’ plodov jedle bielej (*Abies alba* Mill.) na Slovensku. *Acta Musei Silesiae, Series Dendrologia (Opava)* 23: 171–179.

Kubiak M., Laurow Z. 1994. Surowiec drzewny. Fundacja, Rozwój SGGW, Warszawa. ISBN 83-86241-33-0.

Nanu N. 1977. Contributii la biometriaconurilor de brad (*Abies alba* Mill.). *Revista Pădurilor* 92(3): 140–147.

Norma branżowa BN-76/9211-02, Leśnictwo, Wydawnictwa Normalizacyjne.

Pabis J. 1982. Teoria konwekcyjnego suszenia produktów. Warszawa. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 228 s. ISBN 83-09-00597-0.

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.

Statistica 10. 2011. Start Soft. www.statsoft.com.

- Sugiero D. 2005. Jodła pospolita (*Abies alba* Mill.) w drzewostanach zespołu żywej buczyny karpackiej (*Dentarioglandulosae-Fagetum*). *Sylwan* 149(11): 42–49.
- Suszka B. 1983. Rozmnażanie generatywne, w: Białobok S.(red). Jodła pospolita *Abies alba* Mill. PWN, Warszawa–Poznań, 566 s. ISBN 83-01-04028-9.
- Suszka B. 2000. Nowe technologie i techniki w nasiennictwie leśnym. Bogucki Wydawnictwo Naukowe S.C., Warszawa, 269 s. ISBN 83-88163-14-0.
- Szeligowski H., Bolibok L., Buraczyk W., Drozdowski S. 2011. Characteristics of Silver fir (*Abies alba* Mill.) in a provenance trial in Rogów. *Leśne Prace Badawcze* 72(3): 225–231. DOI 10.2478/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. 2. 358.
- Załęski A. (red) 1995. Nasiennictwo leśnych drzew i krzewów iglastych. Oficyna Edytorska Wydawnictwo Świat. Warszawa, 180 s. ISBN 83-85597-27-1.
- Załęski A., Aniśko E., Konratowicz W. 2009. Zawartość wody w poduszonych nasionach drzew leśnych a wilgotność względna suchszego powietrza. *Leśne Prace Badawcze* 70(2): 151–160.
- Załęski A., Aniśko E., Kantorowicz W. 2006. Zasady oceny nasion w Lasach Państwowych, w: Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych (red. J. Sabor). CILP, Warszawa, 317–326. ISBN 83-88478-21-4.

### Wkład poszczególnych autorów

M.A.– koncepcja, przegląd literatury, metodyka, pomiary, opracowane wyników, analiza statystyczna, wnioski, pisanie, korekta; J.B.– pisanie, pomiary, korekta, W.Z. – tłumaczenie, korekta.