

Zmienność budowy szyszek i powierzchni łusek nasiennych modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.)

Variability of cones and scale surface area of European larch (*Larix decidua* Mill.)

Monika Aniszewska*, Sylwia Stadnik, Arkadiusz Gendek

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, 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. The article describes the shape of cones of European larch (*Larix decidua* Mill.) using the fourth-degree polynomial fitting function. The material was derived from the seed orchard of the Barycz Forest District. The curves were used to calculate the area and volume of single cones. It was not possible to generalize the formulas to calculate the surface and volume of larch cones using the described method, due to the large variability of the empirical coefficients of equations. Finally, to calculate the area and volume of cones, the formula to determine the solid figure of cone was used. The constant α_s of 0.43 was introduced to the formula. Calculated volume values were compared to actual volumes measured by a water-filled burette. The mean surface area of larch cones was calculated from the forming function and it was 780 mm² and the volume was 2434 mm³. Values calculated from cone formulas after taking into account the α_s and constants (0.68 and 0.53) were 783 mm² and 2415 mm³, respectively.

The outer and inner surfaces of the seed scales coming from the central part of the larch cones were photographed using Quanta 200 scanning microscope. Specific features of the scales were measured using the Multi Scan Base program. It was found that the outer and inner surfaces of the larch scales, such as pine and fir, were different. On the outer side, scales are formed by thick-walled cells with visible protruding trichomes. And on the inside at the location of the wings and seeds are visible thin-walled cells with jagged cell walls. On the surface of the scales, the appearance of long stem cells, resembling threads, that are absent on pine and fir seed scales was observed.

Keywords: morphology, surface area, volume, microscopic structure

1. Wstęp

Modrzew europejski zaczyna obradzać około trzydziestego roku życia, gdy rośnie w zwarciu, a około piętnastego, gdy wzrasta na otwartej przestrzeni. Owocuje średnio co 2 lata (Załęski red. 1995). Dojrzałe szyszki modrzewia mają barwę brązową, osiągają długość około 40 mm oraz grubość do 20 mm. Pokryte są szerokimi łuskami zwężającymi się ku wierzchołkowi, z górną krawędzią zazwyczaj o owalnym profilu.

Zbiór szyszek wykonywany jest po pierwszych przymrozkach, gdy osiągają one najniższą wilgotność. Zbiera się jedynie szyszki młode, tegoroczne, a pozostawia te z poprzedniego sezonu. Pozyskanie nasion jest pracochłonne i energochłonne z racji budowy szyszek, otwierających się stopniowo. W warunkach produkcyjnych nasiona łuszczy się sposobem cieplnym, ciepło-mechanicznym (Załęski 2002), rzadziej mechanicznym (Tyszkiewicz 1949). Stosując

pierwszy sposób, na początku należy doprowadzić do szyszek ciepłe powietrze o obniżonej zawartości wody, a następnie stosować zabieg nawilżania szyszek wodą. Dzięki naprzemiennemu suszeniu i zwilżaniu, szyszki modrzewia odchylają łuski, co pozwala pozyskać nasiona. W przypadku drugiego sposobu łuszczenia, szyszki po suszeniu są kruszone mechanicznie (Drachal 1958), a następnie od mieszaniny rozdrobnionych łusek i trzpieni oddzielane są nasiona za pomocą sortownika.

Proces łuszczenia szyszek modrzewia w warunkach gospodarczych jest długi i trwa nawet ponad 50 godzin (Aniszewska 2008). Pomimo wprowadzenia nowoczesnych urządzeń i rozwiązań technologicznych od lat nie uległ on istotnej zmianie. Po zapoznaniu się z dostępną literaturą na temat zmienności i budowy morfologicznej szyszek modrzewia europejskiego stwierdzono, że opisy i analizy są niewystarczające do określenia warunków skutecznego łuszczenia. Stosowane w sza-

fach i komorach łuszcarskich programy łuszczenia dla tego gatunku bazują na zmianie parametrów temperaturowo-wilgotnościowych (Sarnowska, Więsik 1997), nie uwzględniając zmienności budowy samych szyszek, przez co proces łuszczenia staje się czasochłonny. Wydaje się, że konieczna jest znajomość pola powierzchni i objętości zamkniętych szyszek oraz szczegółowa charakterystyka powierzchni łusek nasiennych przed procesem pozyskiwania nasion (gdy szyszki zawierają znaczną ilość wody), jak również w czasie jego trwania, gdy parowanie wody powoduje zmniejszenie grubości ścian komórkowych, co prowadzi do rozchylenia łusek i uwolnienia nasion. Znajomość tych elementów być może pozwoli na zmodyfikowanie technologii pozyskiwania nasion.

Celem pracy było poznanie charakterystycznych cech szyszek modrzewia (długość, grubość, pole powierzchni, objętość) w stanie zamkniętym oraz zmienność budowy powierzchni łusek nasiennych. Opis parametrów szyszek i znajomość budowy zewnętrznej łusek mogą stanowić pomoc w odpowiedzi na pytanie co jest powodem długiego czasu otwierania się szyszek modrzewia, jak wygląda powierzchnia łusek przed łuszczeniem oraz czy na powierzchni widoczne są elementy budowy zewnętrznej, które przed i po procesie ulegają zmianie. Zakres badań obejmował: pomiar długości i grubości szyszek, zaproponowanie sposobu opisu kształtu szyszek, obliczenie powierzchni i objętości zamkniętych szyszek za pomocą różnych modeli matematycznych, charakterystykę budowy powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej łusek w stanie świeżym oraz opis i pomiar elementów widocznych na powierzchni łusek nasiennych modrzewia.

2. Metodyka

2.1. Pochodzenie, charakterystyczne parametry, kształt, powierzchnia i objętość szyszek

Do badań wykorzystano zamknięte szyszki modrzewia europejskiego z plantacji nasiennej z Nadleśnictwa Barycz (RDLP Radom), zebrane zimą 2015 roku i poddane procesowi łuszczenia w wyluszcarni w Nadleśnictwie Grotniki (RDLP Łódź).

W 100 losowo wybranych szyszkach przeprowadzono pomiar długości (h), grubości (d) i masy (m) szyszek, wykorzystując do określenia parametrów zewnętrznych zamkniętych szyszek suwmiarkę elektroniczną o dokładności 0,1 mm, a do pomiaru masy wagę laboratoryjną WPS-600 o dokładności 0,01 g.

Dodatkowo dla 32 szyszek wykonano pomiar grubości, co $2 \pm 0,1$ mm. Wyznaczono tworzącą powierzchni szyszek (Gawart, Miłkaszewicz 2000), na podstawie której obliczono pole powierzchni (S_{obl}) i objętość (V_{obl}) szyszek korzystając ze wzorów (1) i (2):

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

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

Dla porównania, powierzchnię i objętość badanych szyszek obliczono drugim sposobem, traktując szyszki jako stożki S_s (3) i V_s (5) i wykorzystując powszechnie znane wzory, gdzie d to średnica szyszek w najgrubszym miejscu, położona w odległości h_1 od podstawy, zaś l jest tworzącą stożka poprowadzoną z wierzchołka przez punkt określający maksymalną średnicę d , a d_1 jest średnicą podstawy stożka (ryc. 1).

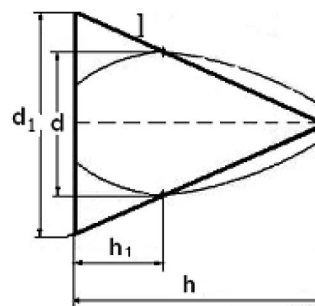
$$S_s = \pi \cdot r_1 \cdot \sqrt{(r_1)^2 + h^2} \quad (3)$$

Z zależności geometrycznej wynika, że

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

gdzie: r_1 – promień podstawy stożka, r – promień szysзки, α_s – równy $h_1 \cdot h^{-1}$

$$V_s = \frac{1}{3} \pi \cdot (r_1)^2 \cdot h \quad (5)$$



Rycina 1. Model geometryczny odwzorowujący kształt szyszek modrzewia

Figure 1. Geometric model mapping the shape of larch cones

Dodatkowo zmierzono objętość szyszki – V_r . Do pomiaru użyto cylindra miarowego (menzurki) wypełnionego wodą, przyjmując objętość wypartej cieczy jako objętość pojedynczej szyszki. Dla szyszek o grubości powyżej 15 mm zastosowano menzurkę o objętości 25 cm³, pomiary wykonywano z dokładnością do 0,5 cm³. Dla pozostałych szyszek zastosowano cylinder miarowy o pojemności 10 cm³, dokładność pomiarowa wynosiła 0,1 cm³.

W celu porównania obliczonych z modeli wartości pola powierzchni i objętości zastosowano wskaźniki $k_1 = S_s/S_{obl}$ i $k_2 = V_{obl}/V_r$ oraz $k_3 = V_s/V_r$.

Dla parametrów zewnętrznych wykonano opis statystyczny wykorzystując program Statistica 10 (StatSoft Inc. 2011). Zgodność z rozkładem normalnym badano stosując test W (Shapiro-Wilka). Średnie pola powierzchni i objętości porównano testem F. Wszystkie analizy wykonano na poziomie istotności $\alpha=0,05$.

2.2. Charakterystyka budowy powierzchni łusek nasiennych od strony zewnętrznej i wewnętrznej szyszki

Badania wykonano w Centrum Analitycznym Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, wykorzy-

stując mikroskop skaningowy Quanta 200, za pośrednictwem którego sporządzono 40 zdjęć łusek pobranych ze środkowej części szyszki.

W celu wykonania preparatów o wielkości uchwytu mocowanego w komorze mikroskopu, łuski cięto na dwie części. Każdy fragment próbki powiększono 50 oraz 500 razy i sfotografowano ze strony zewnętrznej i wewnętrznej, na której położone są nasiona, dokładnie określając miejsce wykonania zdjęcia na łusce.

W laboratorium Zakładu Mechanizacji Leśnictwa Katedry Maszyn Rolniczych i Leśnych, w programie *Multi Scan Base v. 18.03.*, na zdjęciach z mikroskopu skaningowego mierzono widoczne elementy budowy powierzchni łusek: włoski oraz inne struktury. Do oceny ich parametrów (długości, średnicy) wykorzystano program Statistica 10 (StatSoft Inc. 2011).

3. Wyniki

3.1. Wielkość szyszek

Długość 100 losowo wybranych szyszek zawierała się w granicach od 18,0 mm do 31,1 mm, średnio $23,0 \pm 0,56$ mm (odchylenie standardowe $\delta=2,83$ mm), a grubość od 10,9 mm do 21,7 mm, średnio $15,3 \pm 0,38$ mm ($\delta=1,93$ mm).

Masa zamkniętych, świeżych szyszek wynosiła średnio $1,50 \pm 0,08$ g ($\delta=0,43$ g) i zawierała się w granicach od 0,66 g do 2,55 g, a ich wilgotność wynosiła średnio 35%.

3.2. Ustalenie kształtu, powierzchni i objętości zamkniętych szyszek

W tabeli 1 podano wartości długości i grubości wybranych do ustalenia kształtu 32 szyszek modrzewia europejskiego.

Tabela 1. Charakterystyczne parametry szyszek modrzewia
Table 1. Characteristic parameters of larch cones

Nr szyszki No. of cone	Długość [mm] Length [mm]		α_s	Grubość [mm] Thickness [mm]	Nr szyszki No. of cone	Długość [mm] Length [mm]		α_s	Grubość [mm] Thickness [mm]
	h	h_1				h_1/h	d		
1	23,4	10,0	0,43	14,7	21	23,4	10,0	0,43	13,7
2	18,0	9,0	0,50	11,0	22	27,6	10,0	0,36	19,4
3	21,1	10,0	0,48	16,5	23	22,5	10,0	0,44	15,4
4	21,8	8,0	0,37	18,9	24	23,7	11,0	0,47	14,7
5	24,4	9,0	0,37	21,7	25	23,3	11,0	0,47	16,6
6	26,0	10,0	0,38	13,7	26	20,3	10,0	0,49	11,8
7	19,6	6,0	0,31	14,2	27	20,3	10,0	0,49	14,1
8	18,0	8,0	0,44	12,4	28	24,4	9,0	0,37	15,7
9	30,1	12,0	0,40	16,0	29	21,7	8,0	0,37	12,4
10	25,4	10,0	0,39	16,3	30	22,1	10,0	0,45	15,5
11	24,4	10,0	0,41	14,6	31	27,5	11,0	0,40	13,5
12	27,3	12,0	0,44	15,2	32	23,5	11,0	0,47	17,2
13	22,3	10,0	0,45	14,2	Średnia / Mean	23,6	10,0	0,43	15,2
14	23,0	10,0	0,44	15,8	Odchylenie standardowe Standard deviation	2,8	1,3	0,05	2,2
15	26,1	12,0	0,46	16,0	Minimum / Minimum	18,0	6,0	0,31	11,0
16	23,0	10,0	0,43	16,0	Maksimum / Maximum	30,1	12,0	0,50	21,7
17	25,2	12,0	0,48	15,7	Współczynnik zmienności Coefficient of variation	12,0	13,0	10,7	14,1
18	27,3	11,0	0,40	15,7					
19	26,6	11,0	0,41	15,0					
20	23,1	10,0	0,43	14,3					

h_1, h – jak na rycinie 1 / as in Figure 1

Długość tych szyszek wynosiła średnio $23,6 \pm 0,97$ mm ($\delta = 2,8$ mm), a grubość – średnio $15,2 \pm 0,76$ mm ($\delta = 2,2$ mm).

Wykonana analiza wykazała, że zwiększenie długości szyszki o 1 mm powoduje wzrost jej grubości o 0,31 mm. Podaną zależność opisano funkcją liniową (6).

$$d = 0,308h + 7,960 \quad R^2 = 0,165 \quad (6)$$

Po wielu próbach wybrano wielomian czwartego stopnia jako dobrze odwzorowujący kształt szyszek (Aniszewska, Błuszkowska 2016). Uzyskane współczynniki determinacji R^2 zawierały się w granicach od 0,974 do 0,999, średnio $0,990 \pm 0,02$ ($\delta = 0,007$). Ogólne równanie tworzącej kształtu szyszek ma postać (7):

$$y = Ax^4 + Bx^3 + Cx^2 + Dx + E, \quad \text{gdzie } x \in (0, h) \quad (7)$$

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 2.

Wyznaczone równania tworzących poszczególnych szyszek pozwoliły na obliczenie pola powierzchni S_{obl} i objętości V_{obl} stosując wzory (1) i (2) (tab. 3).

Pola powierzchni S_{obl} , obliczone ze wzoru (1) zawierają się w granicach od 428,1 mm² dla szyszki o długości 18,0 mm i grubości 11,0 mm do 1109,7 mm² dla szyszki o długości 30,1 mm i grubości 16,0 mm oraz objętości V_{obl} , ze wzoru (2), w granicach od 942 mm³ dla szyszki o długości 18,0 mm i 11,0 mm do 4 835,6 mm³ dla szyszki o długości 24,4 mm i grubości 21,7 mm.

Objętość V_r średnio jest wyższa o 4 mm³ od objętości V_{obl} , a test F nie wykazał istotnych różnic między nimi.

Duża zmienność współczynników A , B , C i E wielomianu dla poszczególnych szyszek powoduje, że mimo istotnych zależności od długości i grubości szyszek nie ma możliwości praktycznego zastosowania wzoru do obliczenia objętości i pola powierzchni dowolnej szyszki modrzewia, gdy znane są jedynie jej podstawowe parametry (d i h). Dlatego w celu obliczenia pola powierzchni S_s i objętości V_s szyszek zastosowano wzory (3) i (5). Wartości te różnią się istotnie (na podstawie testu F) od pola powierzchni i objętości liczonych ze wzoru (1) i (2).

Wartości α_s (tabela 1) dla poszczególnych szyszek uśredniono i wykorzystywano w obliczeniach pola powierzchni S_s i objętości V_s szyszek modrzewia. Średnio α_s wynosi $0,43 \pm 0,02$ ($\delta = 0,05$), natomiast h_1 wynosi $10,0 \pm 0,45$ mm ($\delta = 1,3$).

Wartości S_s i V_s zamieszczono w tabeli 3. Natomiast wzory według których wyliczono podane w tabeli 3 wartości według modelu stożka z uwzględnieniem α_s , przedstawiają równania 8 i 9. Podane stałe wynikają z przeliczenia równań 3–5.

$$S_s = 2,754 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{d^2}{1,3} + h^2} \quad (8)$$

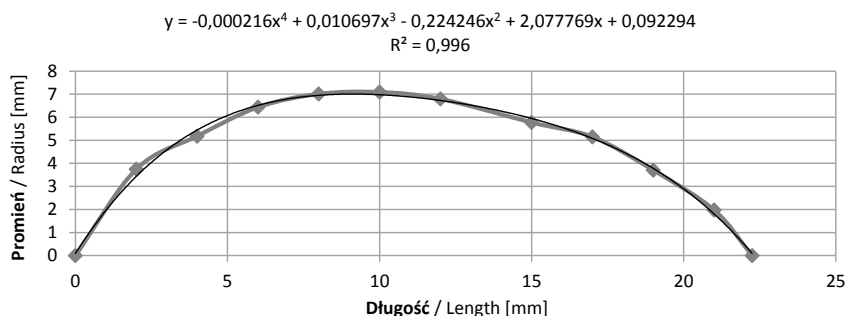
$$V_s = 0,805 \cdot d^2 \cdot h \quad (9)$$

Pole powierzchni szyszki (S_s) wynosi od 610,8 mm² do 1843,9 mm², średnio $1152,4 \pm 89,90$ mm² ($\delta = 259,6$ mm²), a objętość (V_s) od 1717,7 mm³ do 9210,4 mm³, średnio $4557,0 \pm 541,7$ mm³ ($\delta = 1564,4$ mm³) (tab. 3).

Obliczone ze wzorów na stożek wartości objętości przyrównano do wartości V_r . Średnia wartość wskaźnika k_2 określającego stosunek objętości obliczonej V_{obl} do zmierzonej V_r

Tabela 2. Wartości współczynników $A \div E$ równania kształtu
Table 2. Statistical values of coefficients $A \div E$ form of the equation

Parametr / Parameter	Wartości współczynników / Values of coefficients				
	A	B	C	D	E
Średnia / Mean	-0,000119	0,006092	-0,156985	1,818285	0,043564
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,0001456	0,005622	0,077277	0,406385	0,168299
Minimum / Minimum	-0,000688	-0,004068	-0,357911	1,008622	-0,185385
Maksimum / Maximum	0,000098	0,024995	-0,001631	2,457081	0,500455



Rycina 2. Wykres krzywej tworzącej kształt szyszek modrzewia

Figure 2. Cone outline data visualization

Tabela 3. Objętość i pole powierzchni badanych szyszek modrzewia

Table 3. Volume and surface for the tested larch cones

Nr szyszki No. of cone	Objętość [mm ³] Volume [mm ³]				Pole powierzchni [mm ²] Surface area [mm ²]		
	V_{obl}	V_r	V_s	V_{sf}	S_{obl}	S_s	S_{sf}
1	2729,8	3000,0	4072,5	2158,4	832,8	1081,8	735,6
2	942,8	1000,0	1717,7	910,4	428,1	610,8	415,3
3	2675,8	2500,0	4635,7	2456,9	788,5	1164,5	791,9
4	3404,8	3500,0	6274,2	3325,3	907,0	1426,5	970,0
5	4835,6	5000,0	9210,4	4881,5	1106,7	1843,9	1253,9
6	2087,0	2000,0	3901,2	2067,7	755,7	1076,4	731,9
7	1888,2	2000,0	3177,4	1684,0	633,8	907,5	617,1
8	1363,2	1500,0	2243,8	1189,2	524,6	721,6	490,7
9	3681,1	3500,0	6232,5	3303,2	1109,7	1467,8	998,1
10	3155,8	3000,0	5410,2	2867,4	988,0	1305,2	887,5
11	2465,5	2500,0	4185,2	2218,1	815,3	1107,6	753,2
12	2743,7	2500,0	5070,0	2687,1	892,4	1270,3	863,8
13	2056,1	2000,0	3601,5	1908,8	709,0	995,4	676,9
14	2371,9	2000,0	4600,5	2438,3	771,7	1164,9	792,1
15	3044,2	3000,0	5392,7	2858,1	924,9	1307,6	889,2
16	2308,1	2000,0	4757,9	2521,7	741,0	1190,2	809,4
17	2733,3	3000,0	4975,3	2636,9	874,3	1237,6	841,6
18	2802,9	3000,0	5416,0	2870,5	901,0	1322,2	899,1
19	2452,3	2500,0	4828,1	2558,9	838,4	1227,0	834,3
20	1713,8	1500,0	3779,3	2003,0	635,0	1031,4	701,4
21	1693,4	1500,0	3535,5	1873,8	641,3	992,5	674,9
22	4118,3	4000,0	8358,5	4430,0	1099,6	1731,6	1177,5
23	2156,9	2000,0	4310,6	2284,6	716,2	1115,6	758,6
24	2013,4	2000,0	4097,2	2171,5	701,8	1087,7	739,7
25	2572,6	2500,0	5160,1	2734,9	798,0	1254,7	853,2
26	1258,8	1000,0	2286,3	1211,8	527,3	742,3	504,8
27	1628,8	2000,0	3244,1	1719,3	591,9	922,0	627,0
28	2604,4	3000,0	4820,9	2555,1	825,9	1208,3	821,7
29	1263,0	1500,0	2660,7	1410,1	529,1	824,0	560,3
30	2290,1	2500,0	4273,9	2265,2	740,7	1107,4	753,0
31	2241,7	2000,0	4016,6	2128,8	821,9	1110,3	755,0
32	2582,1	3000,0	5578,8	2956,8	802,9	1320,0	897,6

Nr szyszki No. of cone	Objętość [mm ³] Volume [mm ³]				Pole powierzchni [mm ²] Surface area [mm ²]		
	V_{obl}	V_r	V_s	V_{sf}	S_{obl}	S_s	S_{sf}
Średnia / Mean	2433,7	2437,5	4557,0	2415,2	780,4	1152,4	783,6
Odchylenie standardowe Standard deviation	828,2	859,0	1564,4	829,1	168,3	259,6	176,6
Minimum / Minimum	942,8	1000,0	1717,7	910,4	428,1	610,8	415,3
Maksimum / Maximum	4835,6	5000,0	9210,4	4881,5	1109,7	1843,9	1253,9
Współczynnik zmienności Coefficient of variation	34,0	35,2	34,3	34,3	21,6	22,5	22,5

S_{obl}, V_{obl} – pole powierzchni i objętość szyszek ze wzoru (1, 2) / Surface area and volume of cones according to formula (1, 2)

S_s, V_s – pole powierzchni i objętość szyszek wg modelu stożka (3, 5) / Surface area and volume of cones according to cone model (3, 5)

S_{sf}, V_{sf} – pole powierzchni i objętość szyszek wg modelu stożka ze stałą (10, 11) / Surface area and volume of cones calculated according to the formula for the inclusion of a fixed on a cone (10, 11)

V_r – objętość szyszek odczytana ze skali cylindra pomiarowego / volume of cones measured with buret

wynosiła $1,01 \pm 0,04$ ($\delta=0,11$). Duża zgodność objętości obliczonej V_{obl} według funkcji wielomianu czwartego stopnia z wartością zmierzona dla szyszki V_r pozwoliła stwierdzić, że powierzchnia S_{obl} obliczona tą metodą jest dobrym przybliżeniem wartości rzeczywistych.

Wartość wskaźnika k_1 , będącego stosunkiem pola powierzchni obliczonej z modelu stożka S_s do pola powierzchni według funkcji wielomianu czwartego stopnia S_{obl} zawiera się w granicach od 1,30 do 1,67, średnio $1,48 \pm 0,03$ ($\delta=0,10$).

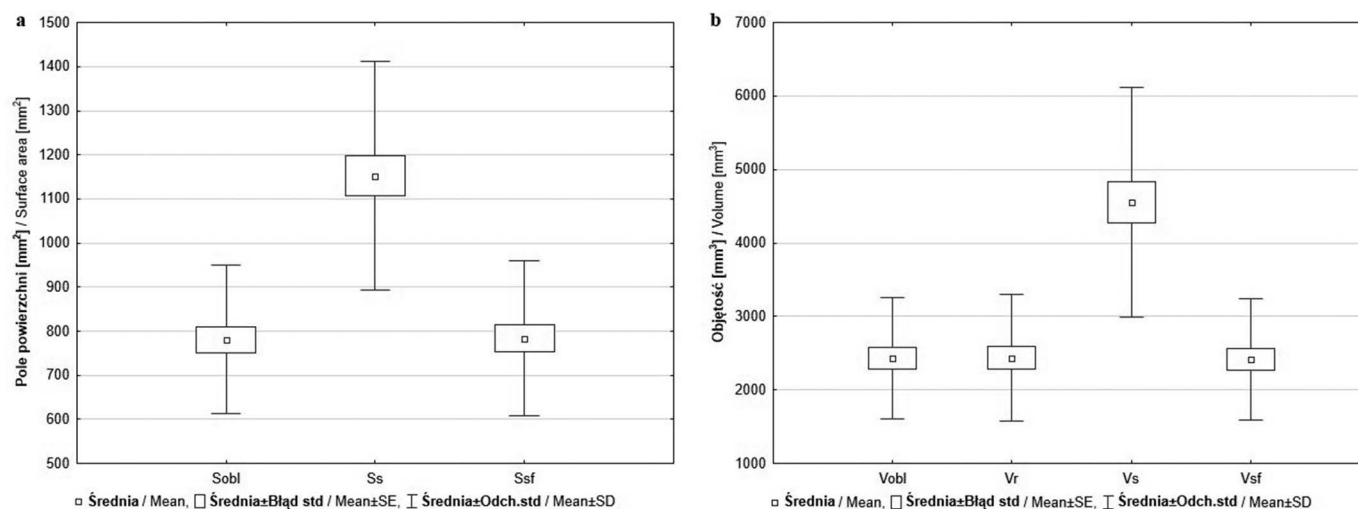
Wartość wskaźnika k_3 , będącego stosunkiem objętości obliczonej z modelu stożka V_s do objętości V_r zawiera się w granicach od 1,36 do 2,52, średnio $1,9 \pm 0,03$ ($\delta=0,10$).

Chcąc zastosować wzory na stożek do obliczenia pola powierzchni (S_{sf}) i objętości (V_{sf}) należy otrzymane wartości pomnożyć odpowiednio przez stałe 0,68 i 0,53 wynikające z przeliczenia k_1 i k_3 .

$$S_{sf} = S_s \cdot 0,68 \quad (10)$$

$$V_{sf} = V_s \cdot 0,53 \quad (11)$$

Przeliczone wartości dla pola powierzchni S_{sf} i objętości V_{sf} wynoszą średnio $783,6 \pm 61,2$ mm² ($\delta=176,6$ mm²) i $2415,2 \pm 287,1$ mm³ ($\delta=829,1$ mm³) (tabela 3). Graficzne porównanie liczonych różnymi metodami pól powierzchni i objętości pokazano na rycinie 3.



Rycina 3. 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_s, V_s –liczone według wzoru na stożek (8, 9), S_{sf}, V_{sf} –liczone według wzoru na stożek z uwzględnieniem stałych (10, 11), V_r –z wody

Figure 3. 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_s, V_s –calculated according to the formula on a cone (8, 9), S_{sf}, V_{sf} –calculated according to the formula for the inclusion of a fixed on a cone (10, 11), V_r –with water

Test porównań wielokrotnych pozwolił na wyróżnienie grup jednorodnych. Dla objętości wyznaczono trzy grupy jednorodne V_{obl} i V_{sf} ($p=0,9447$), V_{obl} i V_r ($p=0,9887$) oraz V_r i V_{sf} ($p=0,9381$). Dla pola powierzchni wyróżniono jedną grupę jednorodną, którą tworzą S_{obl} i S_{sf} ($p=0,9509$).

3.3. Charakterystyka budowy powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej łusek nasiennych

Rycina 4a przedstawia wierzchołkową i środkową część wewnętrznej strony łuski modrzewia europejskiego w powiększeniu 50-krotnym, a rycina 4b wskazany fragment tej łuski powiększony 500-krotnie.

Na rycinie 4a wyróżnić można dwa obszary różniące się strukturą. Pierwszy z nich, zajmujący ponad 80% powierzchni łuski, to miejsce położenia skrzydełek na łusce. Powierzchnia charakteryzuje się nierówną strukturą i składa się z poszarpanych komórek o cienkich ścianach komórkowych. Prawdopodobnie taka struktura tej części łuski jest wynikiem oddzielenia skrzydełek od łuski w czasie otwierania szyszek. Na rycinie 5a pokazano drugi obszar wierzchołkowej części łuski występujący pomiędzy miejscami położenia skrzydełek.

Do wskazanego na rycinie 5b miejsca nie przylega skrzydełko, a powierzchnia łuski jest gładka. W tej części zauważyć można niewielkie, sterczące wypustki [zwane na powierzchni łuski jodły pospolitej przez Kaniewskiego i Kucwicza (1978) włoskami]. Długość wypustek widocznych

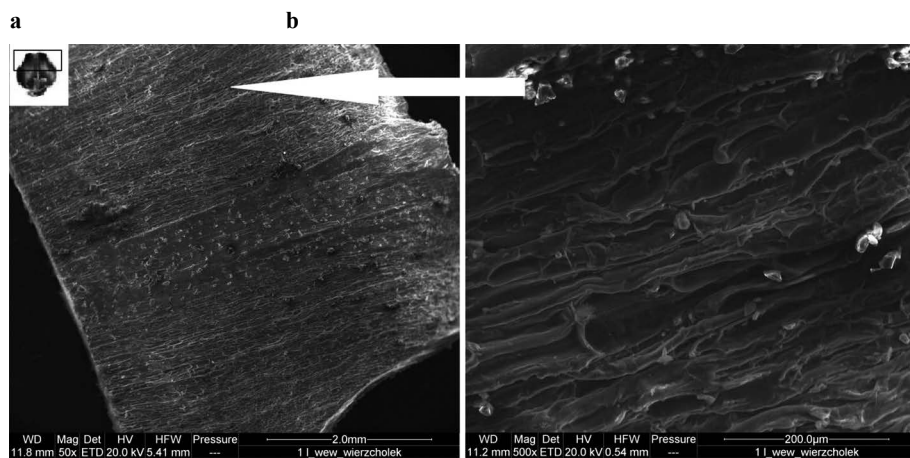
w tej części łuski zawiera się w granicach od 23,42 μm do 51,77 μm i wynosi średnio 37,42 \pm 2,86 μm ($\delta=10,30$ μm) natomiast średnica zawiera się w granicach od 19,27 μm do 34,03 μm i średnio wynosi 25,82 \pm 1,16 μm ($\delta=4,18$ μm).

Na rycinie 6 pokazano dolną część wewnętrznej strony łuski modrzewia w miejscu występowania nasienia. W tej części też można wyróżnić dwa obszary różniące się strukturą.

Pierwszy – to miejsce, do którego przylega nasiono. W zagłębieniu łuski widoczne są cienkościenne komórki o nieregularnych kształtach. Drugi stanowi obszar poza występowaniem nasion. Widoczne w tej części komórki są grubościenne, regularne i ciasno przylegające do siebie. Na rycinie 7b pokazano wyraźną, jasną linię stanowiącą granicę położenia nasienia na łusce nasiennej.

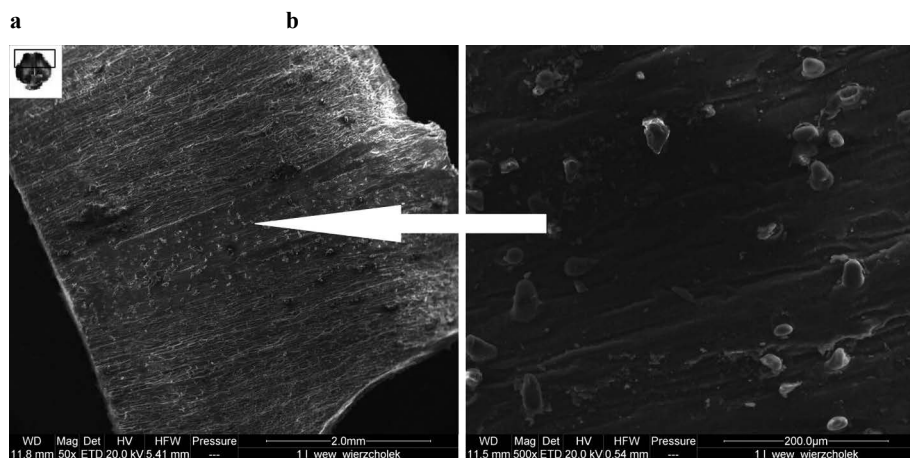
Po opisie wewnętrznej strony łuski dokonano charakterystyki zewnętrznej strony tych samych łusek. Ryciny 8 oraz 9 przedstawiają wierzchołkową i środkową część łuski wraz z powiększeniem w wybranych miejscach.

Powierzchnia części wierzchołkowej z zewnętrznej strony posiada ściśle ułożone obok siebie, regularne i grubościenne komórki. Zauważalne są również pojedyncze krótkie wypustki (włoski) pomiędzy miejscem występowania skrzydełek (ryc. 5) – podobne jak na części wewnętrznej, a ich średnia długość na tej części łuski wynosi 36,22 \pm 2,21 μm ($\delta=7,96$ μm) i zawiera się w granicach od 27,49 μm do 49,86 μm , natomiast średnica wynosi 25,00 \pm 1,07 μm ($\delta=3,87$ μm) w zakresie od 16,14 μm do 28,49 μm .



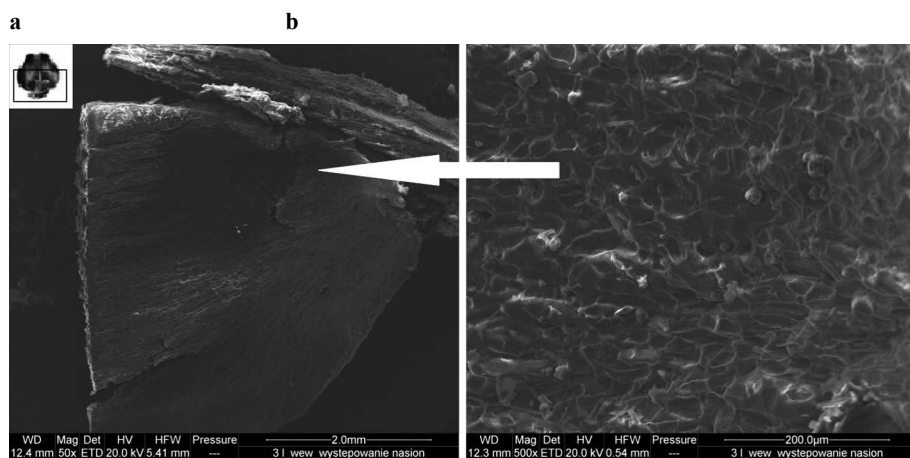
Rycina 4. Górna część łuski z wewnętrznej strony przy powiększeniu (a) $\times 50$ oraz (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)

Figure 4. The upper part of the scales from the inside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)



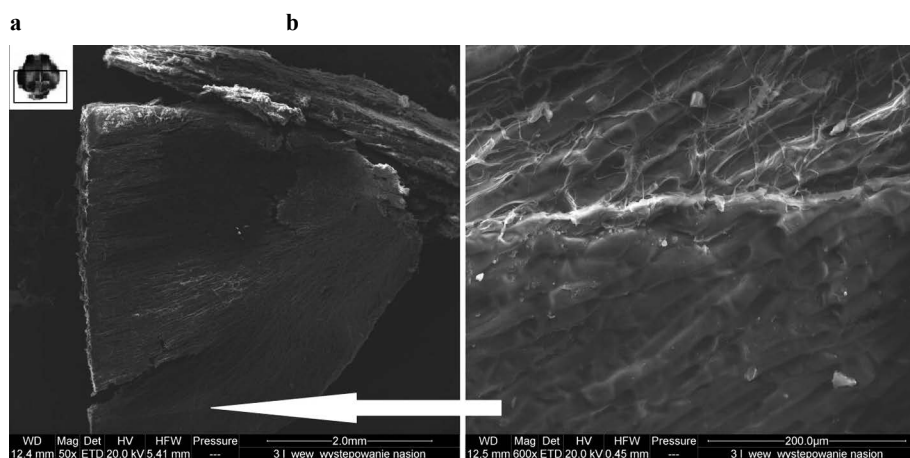
Rycina 5. Górna część łuski z wewnętrznej strony przy powiększeniu (a) $\times 50$ oraz (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)

Figure 5. The upper part of the scales from the inside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)



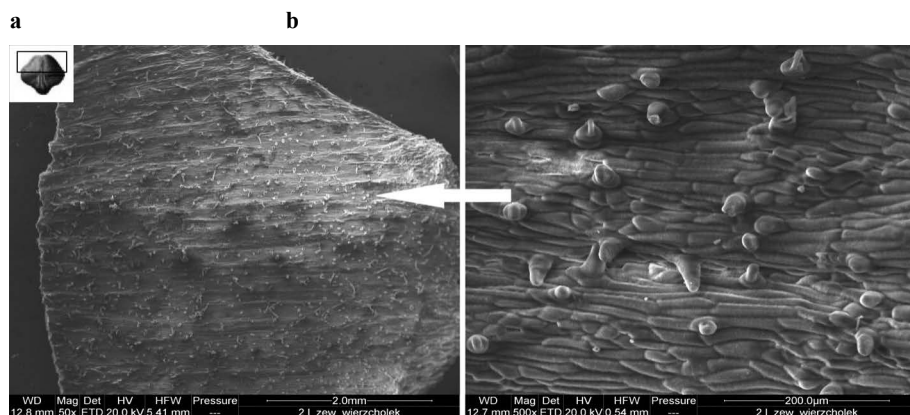
Rycina 6. Dolna części łuski z wewnętrznej strony, przy powiększeniu (a) $\times 50$ oraz (b) $\times 500$ – w miejscu położenia nasienia (Stadnik, Śliwińska 2015)

Figure 6. The basal part of the scales from the inside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ – the site of the seed (Stadnik, Śliwińska 2015)



Rycina 7. Dolna części łuski z wewnętrznej strony przy powiększeniu (a) $\times 50$ oraz (b) $\times 500$ – poza miejscem położenia nasienia (Stadnik, Śliwińska 2015)

Figure 7. The basal part of the scales from the inside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ – off-site seed (Stadnik, Śliwińska 2015)



Rycina 8. Górna część zewnętrznej strony łuski przy powiększeniu (a) $\times 50$ oraz (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)

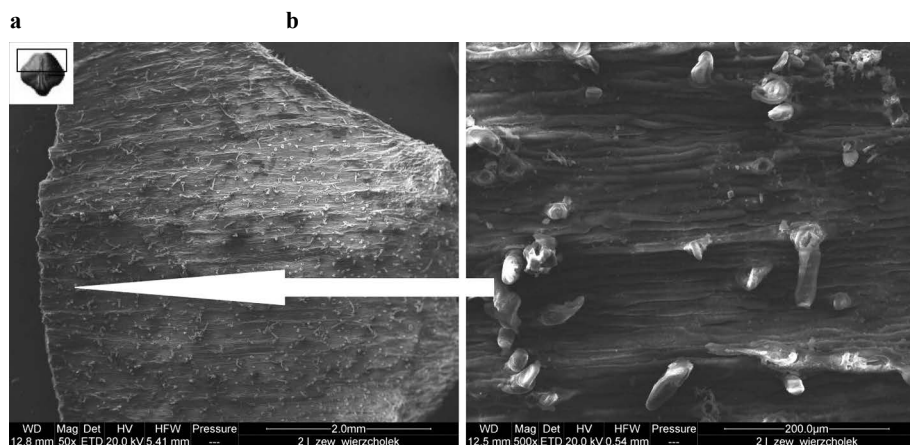
Figure 8. The upper part of the scales from the outside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)

Powierzchnia w środkowej części łuski nieznacznie różni się od powierzchni w części wierzchołkowej. Charakteryzuje się mniejszą liczbą wypustek przypadających na 1 mm^2 , które w większości są dłuższe średnio o $6 \pm 1,07 \mu\text{m}$ ($\delta = 3,85 \mu\text{m}$) w porównaniu z wypustkami z części wierzchołkowej. Komórki, z której zbudowana jest ta część łuski, ułożone są równoległe do siebie.

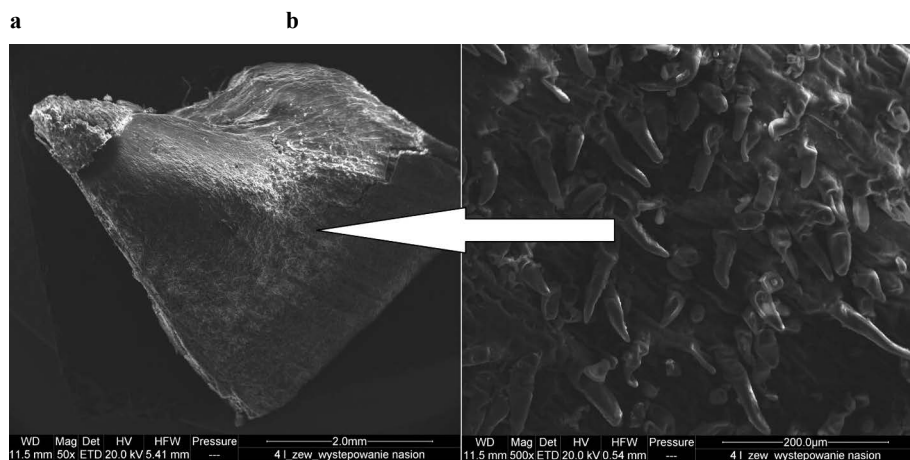
Ryciny 10 i 11 obrazują dolną część łuski z jej zewnętrznej strony. Na rycinie 10 zaznaczono miejsce powyżej występowania nasion. Struktura powierzchni jest mocno poszarpana z zauważalnymi pasmami komórek, a na wska-

zanym fragmencie (ryc. 10b) widoczne są liczne wypustki, przez które najprawdopodobniej wnika i uchodzi wilgoć w czasie łuszczenia. Ich długość na tej części łuski zawiera się w przedziale od $47,15 \mu\text{m}$ do $126,61 \mu\text{m}$ i wynosi średnio $78,31 \pm 6,86 \mu\text{m}$ ($\delta = 24,74 \mu\text{m}$), a średnica w środkowej części wypustek wynosi średnio $22,91 \pm 1,13 \mu\text{m}$ ($\delta = 4,09 \mu\text{m}$) i zawiera się w granicach od $15,95 \mu\text{m}$ do $32,05 \mu\text{m}$.

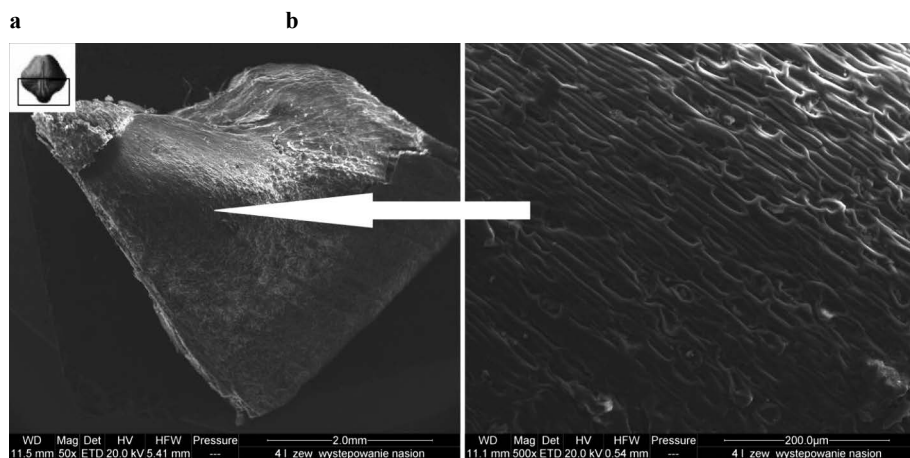
Na rycinie 11 zaznaczono miejsce na wysokości występowania nasienia. Powierzchnia ta charakteryzuje się wieloma grubościennymi komórkami, połączonymi ze sobą przypominające długie łańcuchy.



Rycina 9. Środkowa część zewnętrznej strony łuski przy powiększeniu (a) $\times 50$ oraz (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)
 Figure 9. The central part of the scales from the outside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)



Rycina 10. Dolna część zewnętrznej strony łuski, przy powiększeniu (a) $\times 50$ oraz (b) $\times 500$ – powyżej położenia nasion (Stadnik, Śliwińska 2015)
 Figure 10. The basal part of the scales from the outside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ – above the position of the seed (Stadnik, Śliwińska 2015)



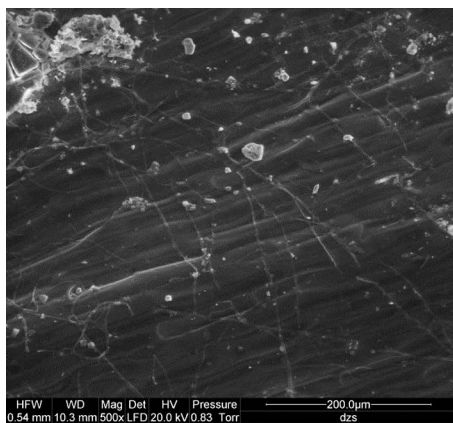
Rycina 11. Dolna część zewnętrznej strony łuski przy powiększeniu (a) $\times 50$ oraz (b) $\times 500$ – w miejscu położenia nasion (Stadnik, Śliwińska 2015)
 Figure 11. The basal part of the scales from the outside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ – the site of the seed (Stadnik, Śliwińska 2015)

Analizując testem F i Duncana wielkość włosków widocznych na zewnętrznej powierzchni łuski w wierzchołkowej, środkowej oraz dolnej jej części stwierdzono, że długość włosków w wyróżnionych strefach różni się istotnie od siebie, a dla średnicy włosków testy nie wykazały istotnych różnic. Z kolei włoski widoczne na wewnętrznej stronie łuski pod względem długości ($p=0,88$) i średnicy ($p=0,62$) nie różnią się istotnie od tych widocznych na zewnętrznej stronie w części wierzchołkowej łuski, ale różnią się istotnie od włosków widocznych w środkowej i dolnej jej części.

Na zewnętrznej powierzchni łuski nasiennej widoczne są długie komórki przypominające nici (ryc. 12). Średnia długość zmierzonych 30 komórek o średnicy mieszczącej się w przedziale $3,04 \pm 0,21 \mu\text{m}$ ($\delta=0,75 \mu\text{m}$) wynosi $396 \pm 36,00 \mu\text{m}$ ($\delta=129,87 \mu\text{m}$).

4. Dyskusja

Tematyka zmienności szyszek i nasion poszczególnych gatunków iglastych występujących w Polsce poruszana



Rycina 12. Nitki na łusce z jej zewnętrznej strony przy powiększeniu $\times 500$

Figure 12. The threads one of the scales from the outside of the $\times 500$

była przez szereg autorów. O zmienności szyszek i nasion sosny zwyczajnej pisali: Zajączkowski (1949), Staszkiwicz (1968), Białobok et al. (1993), Aniszewska (2012); świerka pospolitego: Tyszkiewicz (1968), Barzdajn (1996), Kulej i Skrzyszewska (1996), Tomanek (1997), Aniszewska (2001), Buraczyk (2009), a jodły pospolitej: Tracz i Barzdajn (2007), Barzdajn (2009) oraz Aniszewska i Błuszkowska (2016). Problematyka zmienności, gęstości nasypowej oraz właściwości transportowych szyszek sosny, świerka i modrzewia poruszona została przez Aniszewską i Gendka (2016a, 2016b). Na temat zmienności szyszek modrzewia europejskiego istnieją nieliczne opracowania, wśród których wymienić można prace: Bałuta (1969), Šindelářa (1972) lub Vílčana et al. (2011). W trzeciej z wymienionych prac autorzy porównują wielkości szyszek i nasion siedmiu pochodzeń. Masa, długość i grubość szyszek modrzewia europejskiego opisane w badaniach Vílčana et al. (2011) są większe od parametrów zmierzonych przez autorów. Przykładowo średnia masa szyszek modrzewia pochodzących z Sinaia z Rumunii wynosiła 4,93 g, długość – 3,69 cm, a grubość – 2,09 cm. Porównując opisane w artykule szyszki pochodzące z Nadleśnictwa Barycz do badanych przez Vílčana et al. (2011), możemy uznać te pierwsze za małe.

W dostępnej literaturze można znaleźć więcej publikacji dotyczących parametrów samych nasion modrzewia, ich wielkości, masy czy jakości. Badali je między innymi: Tylek (2004), Skrzypczyńska i Kozioł (2001) czy Kaliniewicz et al. (2012).

Optymalizacja technologii luszczania mające na celu zmniejszenie nakładów energetycznych wymaga poznania czynników mających wpływ na jego przebieg. Zaliczyć można do nich parametry temperaturowo-wilgotnościowe procesu (temperaturę i wilgotność powietrza doprowadzonego do urządzeń luszczarskich i intensywność wymiany), oraz zjawiska zachodzącą w szyszkach – między innymi zmiany wilgotności i odkształcenia łusek doprowadzające do pozyskania nasion. W poszukiwaniu tych czynników pomocne mogą być modele matematyczne opisujące zmiany stanu szyszek podczas procesu luszczania. W przedstawionym opra-

cowaniu opisano matematycznie kształt szyszek modrzewia europejskiego w zależności od ich wymiarów: długości i grubości. Dzięki wyznaczonemu równaniu dla poszczególnych szyszek obliczono objętość i powierzchnię szyszki. Stosując tę metodykę Gawart (2000), Aniszewska (2001) oraz Aniszewska i Błuszkowska (2016) opisały kształt i obliczyły objętość oraz powierzchnię szyszek innych gatunków: sosny zwyczajnej, świerka pospolitego i jodły pospolitej. Tworzące bryły szyszek wszystkich trzech gatunków dokładnie opisuje wielomian czwartego stopnia, którego współczynniki w większości zależą od podstawowych parametrów szyszek. Nie da się jednak uogólnić tych współczynników dla całego zbioru szyszek badanych gatunków. Dlatego zaproponowano obliczenie powierzchni i objętości szyszek za pomocą wzorów na stożek (sosna, świerk, modrzew) oraz na walec (jodła). Do wzorów na pole powierzchni i objętości stożka czy walca wprowadzono stałe, dzięki którym otrzymane wyniki nie różniły się istotnie od wartości rzeczywistych. Przykładowo, przy obliczeniu objętości szyszek modrzewia wprowadzono do wzoru na stożek stałą 0,53, a przy obliczaniu pola powierzchni – stałą 0,68. W przypadku szyszek jodły, do wzorów na objętość i pole powierzchni walca wprowadzono odpowiednio stałe: 0,71 i 0,81.

W artykule opisano również budowę powierzchni łusek nasiennych. Zastosowaną metodą wykonano wcześniej badania na łuskach sosny zwyczajnej (Aniszewska 2012) i jodły pospolitej (Aniszewska et al. 2017), czy skrzydełek i nasion modrzewia (Aniszewska 2014). Zauważono, że powierzchnie łusek na stronie zewnętrznej i wewnętrznej, na której położone są nasiona, różnią się istotnie. Strona zewnętrzna łusek jest zazwyczaj zbudowana z podobnej wielkości grubościennych komórek na całej długości. W górnej części łuski u sosny i jodły występuje tarczka, której brak jest u modrzewia. Na stronie wewnętrznej wyróżnić można dwie części łuski: pierwszą w miejscu położenia skrzydełka, a druga poza nim. Pierwsza z wymienionych części zbudowana jest z poszarpanych komórek, powstałych najprawdopodobniej w wyniku odrywania skrzydełka i nasiona od tej części łuski. U innych gatunków na opisywanej powierzchni da się wyróżnić: komórki ułożone w ciąg łańcuszków (u sosny zwyczajnej), niewielkie włoski i komórki z grubościennymi ścianami (u jodły zwyczajnej i modrzewia europejskiego). Druga część, podobnie jak powierzchnia wnętrza łuski, charakteryzuje się regularnie ułożonymi komórkami. Dodatkowo na łuskach modrzewia europejskiego zauważono komórki przypominające długie nitki znajdujące się na całej powierzchni. Ten element budowy jest charakterystyczny dla łusek modrzewia, bo nie występuje na powierzchni łuski szyszek żadnego innego badanego gatunku.

Przedstawione w artykule badania parametrów wielkościowych szyszek i ich zależności oraz opis budowy powierzchni łusek nasiennych nie dały ostatecznej odpowiedzi na postawione pytanie dotyczące przyczyn długiego czasu otwierania się szyszek modrzewia. Prawdopodobnie należy jeszcze poznać i szczegółowo opisać budowę komórek oraz skład chemiczny.

5. Wnioski

1. Kształt szyszek modrzewia dość dokładnie opisuje krzywa będąca wielomianem czwartego stopnia. Duża zmienność współczynników empirycznych równania otrzymywanych dla pojedynczych szyszek uniemożliwia ich uogólnienie na dowolne szyszki i wykorzystanie do obliczeń ich objętości i pola powierzchni.

2. Ogólnym modelem obliczeniowym opisującym pole powierzchni i objętość szyszek modrzewia europejskiego może być wzór na stożek z uwzględnieniem stałej $\alpha_s=0,43$. Dodatkowo wartości objętości należy pomnożyć przez stałą 0,53, a pola powierzchni przez stałą 0,68. Analiza wyników wykazała, że po wprowadzeniu tych stałych, wartości pola powierzchni oraz objętości szyszek różniły się odpowiednio 3,5 i 5,0% od rzeczywistych wartości.

3. Przeprowadzone badania mikroskopowe powierzchni łusek modrzewia nie dały odpowiedzi na pytanie dotyczące przyczyn długiego czasu pozyskania nasion. Wymagane są dalsze prace w tym zakresie.

Konflikt interesów

Autorzy 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. 2014. Analiza budowy skrzydełek modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) w aspekcie procesu odskrzydlenia. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej* 16. z. 39/2B: 13–19.
- Aniszewska M. 2012. Dynamika procesu pozyskania nasion w jedno- i dwuetapowych procesach łuszczenia szyszek sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. *Rozprawy naukowe i monografie*, Wydawnictwo SGGW, 120 s.
- Aniszewska M. 2008. Charakterystyka wielofazowego procesu wyłuszczenia nasion modrzewia europejskiego *Larix decidua* Mill. na przykładzie wyłuszczeni gospodarce w Czarnej Białostockiej. *Leśne Prace Badawcze* 69(2): 155–163.
- Aniszewska M. 2001. Zmienność podstawowych parametrów szyszki świerka. *Sylwan* 145(6): 87–93.
- Aniszewska M., Błuszkowska U. 2016. Zmienność szyszek jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) – zmienność parametrów zewnętrznych szyszek. *Leśne Prace Badawcze* 77(3): 221–229. DOI 10.1515/frp-2016-0007.
- Aniszewska M., Gendek A. 2016a. Logistics of the supplies of selected forest tree species' cones. Part 1. Cone density and substitution coefficient. *Annals of Warsaw University Life Sciences – SGGW. Agriculture* 67: 121–130.
- Aniszewska M., Gendek A. 2016b. Logistics of delivery of cones of selected species of forest trees. Part 2: Cone transport. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Agriculture* 68: 113–121.
- Aniszewska M., Gendek A., Śliwińska J. 2017. Zmienność szyszek jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) – zróżnicowanie budowy powierzchni łusek nasiennych. *Leśne Prace Badawcze* 78(1): 5–13. DOI 10.1515/frp-2017-0001.
- Bałut S. 1969. Zmienność szyszek modrzewia jako podstawa wyróżniania pochodzeń. Cz. 1. Zmienność wielkości i kształtu szyszek w obrębie drzewa i jednej naturalnej populacji modrzewia. *Acta Agraria et Silvestria. Series Sylvestris* 9: 3–109.
- 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.
- 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.
- Białobok S., Boratyński A., Bugała W. 1993. *Biologia sosny zwyczajnej*. Poznań-Kórnik, Sorus. ISBN 83-85599-21-5.
- Buraczyk W. 2009. Morphological change ability of cones of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in the Białowieża Forest. *Folia Forestalia Polonica, Series A*: 51(2): 154–160.
- Drachal T. 1958. Nowa wyłuszcarka nasion modrzewia. *Sylwan* 102(3): 83–86.
- Gawart B. 2000. Zmienność budowy anatomicznej szyszek sosny. Praca magisterska. Wydział Inżynierii Produkcji SGGW, Warszawa.
- Gawart B., Mikłaszewicz M. 2000. Modele matematyczne kształtu szyszek sosny i świerka. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej* 2: 20–22.
- Kaliniewicz Z., Markowski P., Anders A., Rawa T., Liszewski A., Fura S. 2012. Correlations between the germination capacity and selected attributes of European larch seeds (*Larix decidua* Mill.). *Technical Sciences/University of Warmia and Mazury in Olsztyn*, 229–242.
- Kaniewski K., Kucewicz O. 1978. Anatomical development of the *Abies alba* Mill. cone and shedding of its scales during ripening. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie, Leśnictwo* 26: 141–158.
- Kulej M., Skrzyszewska K. 1996. Wstępna ocena zmienności szyszek świerka istebniańskiego na przykładzie wybranych drzewostanów nasiennych Nadleśnictwa Wista. *Sylwan* 140(5): 105–120.
- Sarnowska G., Więsik J. 1997. Wyłuszczenia w Czarnej Białostockiej. Część II. Proces wyłuszczenia i obróbki nasion. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej* 12: 8–10.
- Skrzypczyńska M., Kozioł M. 2001. Ocena jakościowa nasion modrzewia europejskiego *Larix decidua* Mill. pochodzących z wybranych stanowisk południowej Polski. *Sylwan* 5: 39–44.
- Stadnik S., Śliwińska J. 2015. Zmienność budowy szyszek modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) i jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.). Praca magisterska. Wydział Inżynierii Produkcji SGGW, Warszawa.
- Staszkiwicz J. 1968. Badania nad sosną zwyczajną z Europy południowo-wschodniej i Kaukazu oraz jej stosunkiem do sosny z innych obszarów Europy, oparte na zmienności morfologicznej szyszek. *Fragmenta Floristica et Geobotanica* 14(3): 259–315.
- Statistica 10. 2011. StartSoft. www.startsoft.com.
- Šindelář J. 1972. Někteře nové poznatky o fruktifikaci modřina evropskeho *Larix decidua* Mill. *Práce VÚLHM. Výzkumny Ústav Lesního Hospodářství a Myslivosti*. 41: 43–61.
- Tomanek J. 1997. *Botanika leśna*. PWRiL, Warszawa, 507 s. ISBN 83-09018-19-3.

- Tracz M., Barzdajn W. 2007. The morphological traits of cones and seeds of *Abies alba* in Middle Sudeten. *Dendrobiology* 58: 59–65.
- Tylek P. 2004. Wybrane cechy rozdzielcze i kryteria separacji nasion modrzewia europejskiego. *Sylwan* 4: 27–33.
- Tyszkiewicz S. 1949. Nasiennictwo Leśne. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa, 37 s.
- Tyszkiewicz S. 1968. Population studies of Norway spruce in Poland. Forest Research Institute, Warszawa.
- Vilcan A., Holonec L., Tăut I., Sestras R. E. 2011. Variability of the Traits of Cones and Seeds in Different Larch Clones I. The Influence of the Provenance. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 68(1).
- Zajączkowski M. 1949. Studia nad sosną zwyczajną w Tatrach i Pieninach. *Prace Roln. – Leśne PAU* 45: 1–43.
- Załęski A. 2002. Porównanie metod termicznego i mechanicznego wyluszczenia nasion modrzewia europejskiego (*Larix Decidua* Mill.). *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, seria A 3*: 5–17.
- Załęski A. (red.). 1995. Nasiennictwo leśnych drzew i krzewów iglastych. Oficyna Edytorska Wydawnictwo Świat. Warszawa 179 s. ISBN 83-85597-27-1.

Wkład autorów

M.A. – koncepcja, przegląd literatury, metodyka, pomiary, opracowanie wyników, opracowanie statystyczne, wnioski, pisanie; S.S. – pomiary, opracowanie wyników, A.G. – opracowanie wyników, korekta.