

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 zwarcu, 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).

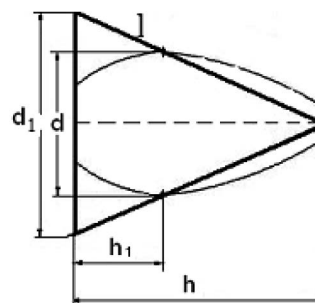
$$S_s = \pi \cdot r_1 \cdot \sqrt{(r_1)^2 + h^2} \quad (3)$$

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.

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

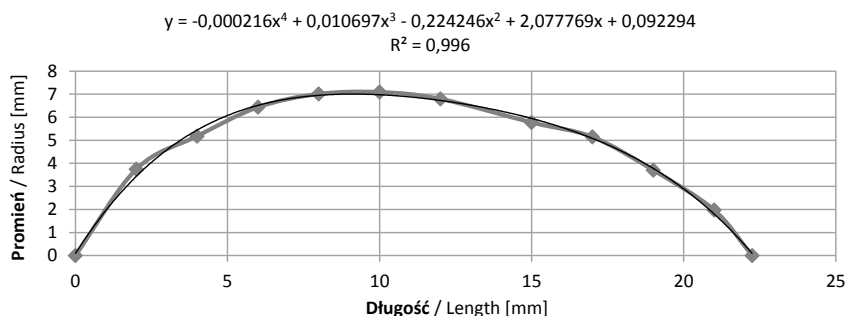
$$V_s = 0,805 \cdot d^2 \cdot h \quad (9)$$

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 $1,48 \pm 0,03$ ($\delta=0,10$).

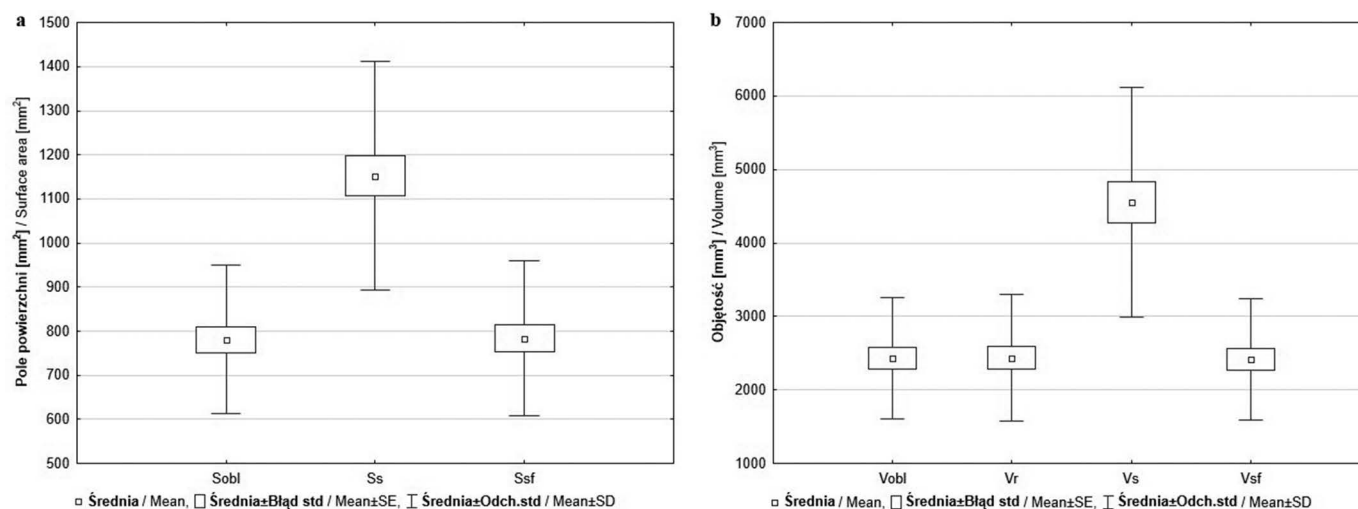
Wartość wskaźnika k_3 , będącego stosunkiem objętości obliczonej z modelu stożka V_s do objętości V_r , zawiera się w granicach od 1,36 do 2,52, średnio $1,9 \pm 0,03$ ($\delta=0,10$).

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, sterzące wypustki [zwane na powierzchni łuski jodły pospolitej przez Kaniewskiego i Kucwicza (1978) włoskami]. Długość wypustek widocznych

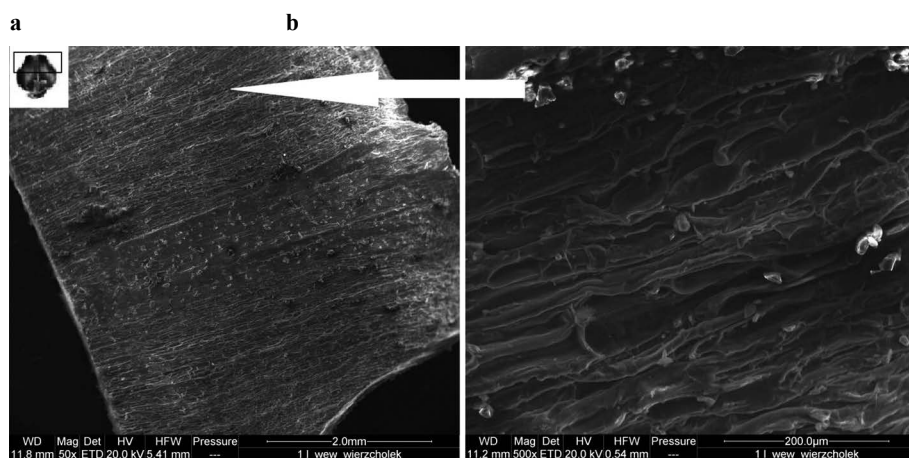
w tej części łuski zawiera się w granicach od 23,42 μm do 51,77 μm i wynosi średnio 37,42 \pm 2,86 μm ($\delta=10,30$ μm) natomiast średnica zawiera się w granicach od 19,27 μm do 34,03 μm i średnio wynosi 25,82 \pm 1,16 μm ($\delta=4,18$ μm).

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.

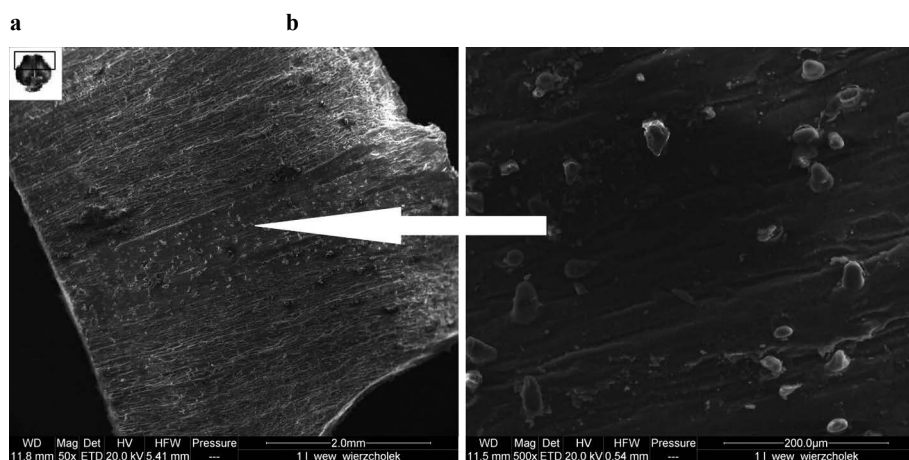
Po opisie wewnętrznej strony łuski dokonano charakterystyki zewnętrznej strony tych samych łusek. Ryciny 8 oraz 9 przedstawiają wierzchołkową i środkową część łuski wraz z powiększeniem w wybranych miejscach.

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 .



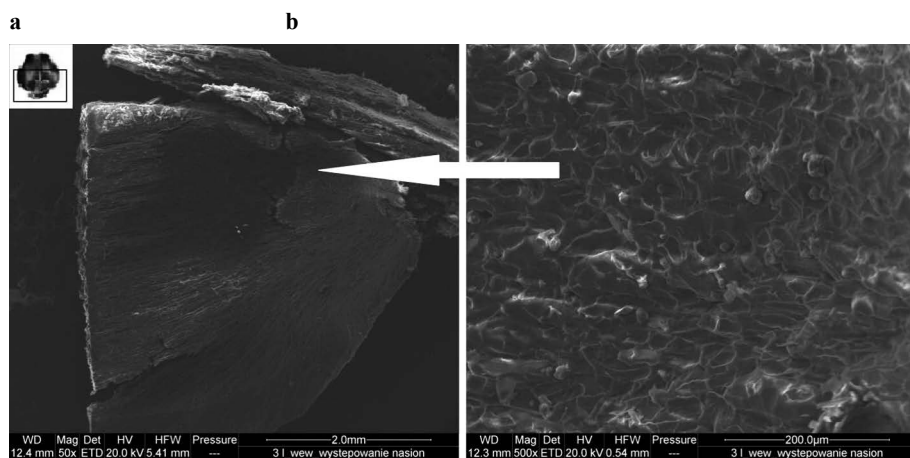
Rycina 4. Górna część łuski z wewnętrznej strony przy powiększeniu (a) $\times 50$ oraz (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)

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



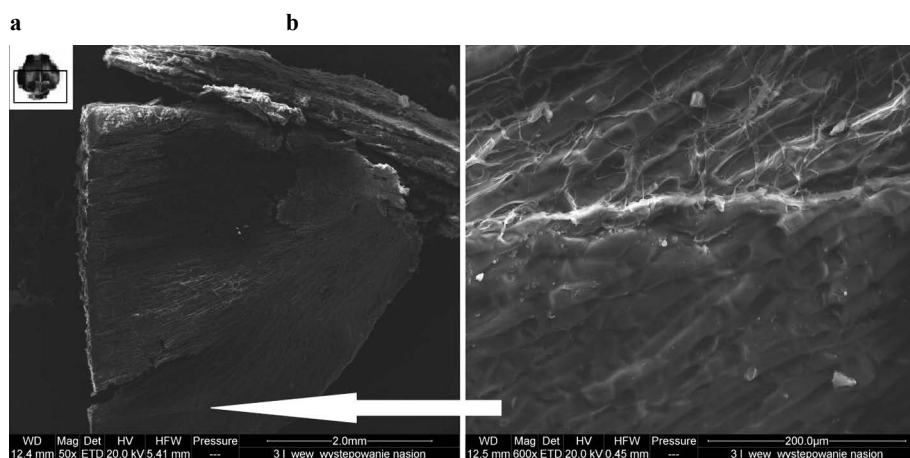
Rycina 5. Górna część łuski z wewnętrznej strony przy powiększeniu (a) $\times 50$ oraz (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)

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



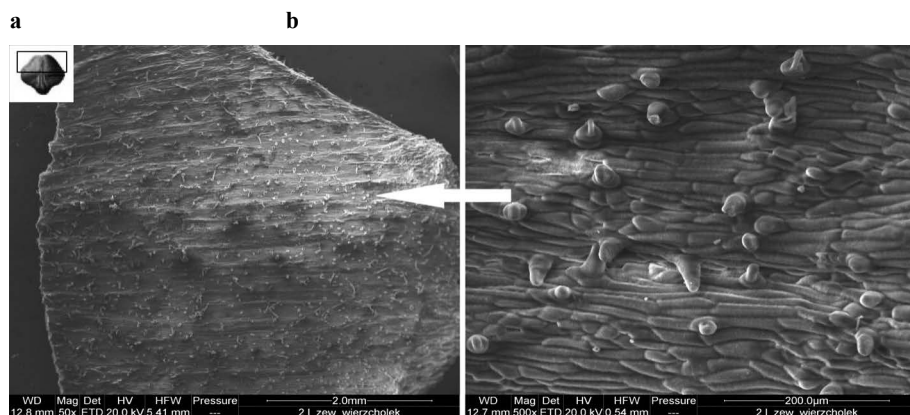
Rycina 6. Dolna części łuski z wewnętrznej strony, przy powiększeniu (a) $\times 50$ oraz (b) $\times 500$ – w miejscu położenia nasienia (Stadnik, Śliwińska 2015)

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)

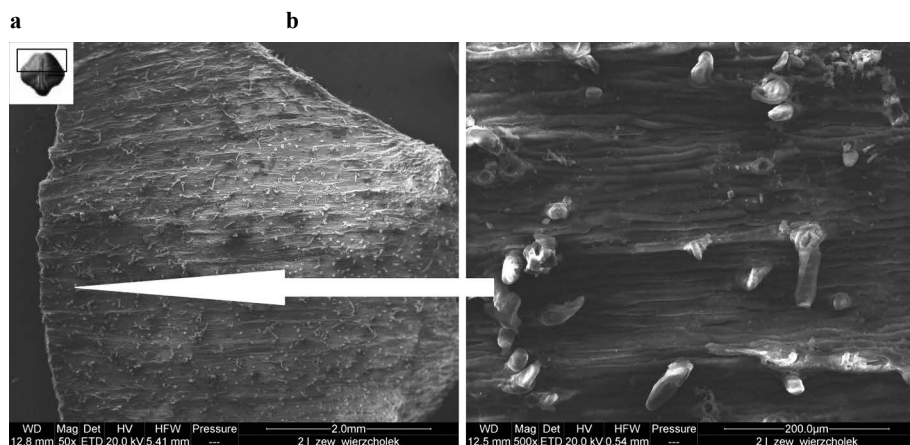
Figure 8. The upper part of the scales from the outside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)

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.

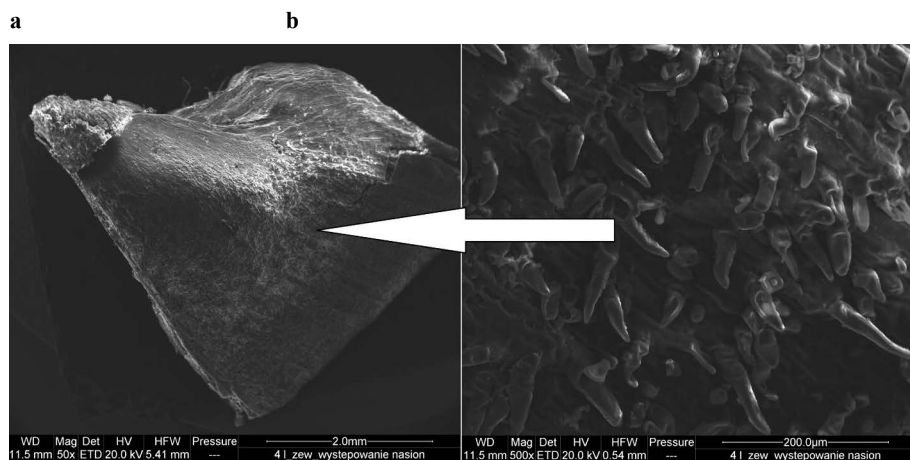
Rycynie 10 i 11 obrazują dolną część łuski z jej zewnętrznej strony. Na rycinie 10 zaznaczono miejsce powyżej występowania nasion. Struktura powierzchni jest mocno poszarpana z zauważalnymi pasmami komórek, a na wska-

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 $32,05 \mu\text{m}$.

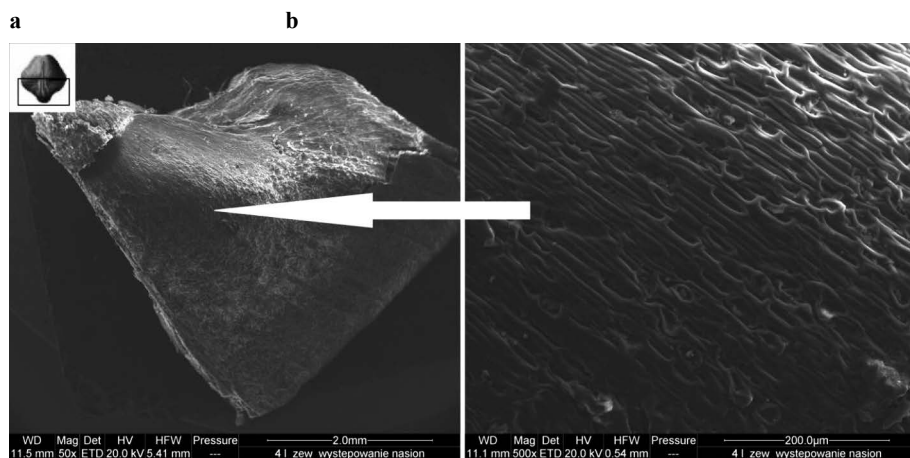
Na rycinie 11 zaznaczono miejsce na wysokości występowania nasienia. Powierzchnia ta charakteryzuje się wieloma grubościennymi komórkami, połączonymi ze sobą przypominające długie łańcuchy.



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)



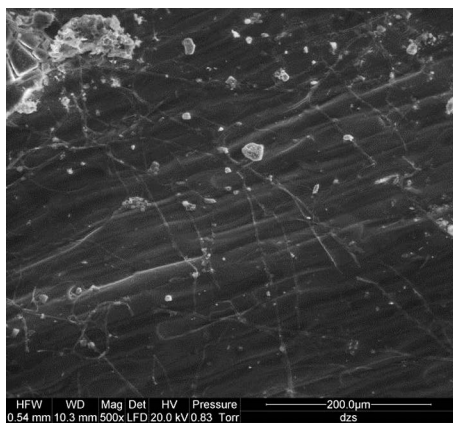
Rycina 11. Dolna część zewnętrznej strony łuski przy powiększeniu (a) $\times 50$ oraz (b) $\times 500$ – w miejscu położenia nasion (Stadnik, Śliwińska 2015)
 Figure 11. The basal part of the scales from the outside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ – the site of the seed (Stadnik, Śliwińska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

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

Monika Aniszewska* , Sylwia Stadnik, Arkadiusz Gendek 

Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Faculty of Production Engineering,

Department of Agricultural and Forest Machinery, ul. Nowoursynowska 164, 02–776 Warszawa, Poland

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

Abstract. The article describes the shape of the cones of the European larch (*Larix decidua* Mill.) using the fourth degree polynomial fitting function. The material is 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 the equations. Finally, to calculate the area and volume of the cones, the formula to determine the solid figure of a cone was used. A constant α_s of 0.43 was introduced to the formula. Calculated volume values were compared to actual volumes measured with a water-filled burette. The mean surface area of the larch cones was calculated from the forming function and was 780 mm², and the volume was 2434 mm³. The values calculated from the 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 located in the central part of the larch cones were photographed using a Quanta 200 scanning microscope. Specific features of the scales were measured using the Multi Scan Base program. We found that the outer and inner surfaces of the larch scales, as with pine and fir, differed. On the outer side, scales are formed by thick-walled cells with visible, protruding trichomes. Thin-walled cells with jagged cell walls are visible on the inside at the location of the wings and seeds. Long stem cells, resembling threads, were observed on the surface of the scales, which are absent on pine and fir seed scales.

Keywords: morphology, surface area, volume, microscopic structure

1. Introduction

The European larch begins to produce cones around the age of 30 years when growing in dense stands, and around the age of 15 years when growing in open space. It fruits every two years on average (Załęski, edited 1995). Mature larch cones are brown, reach a length of about 40 mm and a thickness of up to 20 mm. The cones are covered with broad scales narrowing towards the top, with the upper edge usually having an oval profile.

Cones are collected after the first frosts, when they reach their lowest humidity. Only the young cones of the year are collected, along with those left from the previous season. Harvesting the seeds is labour-intensive and energy-consuming due to the construction of the cones, which open gradually. In production conditions, the seeds are extracted using a thermal, thermo-mechanical method (Załęski 2002), less often me-

chanically (Tyszkiewicz 1949). When using the first method, warm air with a lowered humidity should be used, and then a procedure that moistens the cones with water is applied. As a result of alternating drying and wetting, the scales of the larch cones deflect, allowing the seeds to be obtained. In the case of the second method, the cones are mechanically crushed after drying (Drachal 1958), and then the seeds are separated by a sorter from the mixture of shredded scales and stems.

The process of commercially extracting seeds from larch cones is long and lasts over 50 hours (Aniszewska 2008). Despite the introduction of modern equipment and technological solutions, it has not changed significantly in years. After reviewing the available literature on the variability and morphological structure of the European larch cones, it was found that the descriptions and analyses are insufficient to determine the conditions for effective seed extraction. The extraction procedures for this species used in cabinets and extraction kilns are

Submitted: 21.12.2016, reviewed: 6.06.2017, accepted after revision: 12.06.2017.

based on changing temperature and humidity parameters (Sarnowska, Więsik 1997), and do not take into account the variability of the construction of the cones themselves, which makes the extraction process time-consuming. It may be that we need to know the surface area and volume of closed cones and the detailed characteristics of the seed scale surface before the seed extraction process (as cones contain a significant amount of water), as during this process, the evaporation of water reduces the thickness of the cell walls, which results in the scales opening and releasing the seeds. Knowledge of these elements may allow the seed extraction technology to be modified.

The aim of this study was to learn about the characteristic features of the larch cone (length, thickness, surface area and volume) in its closed state and about the variability of the surface structure of its seed scales. The description of the parameters of cones and knowledge of the construction of its external scales can help in discovering the reason for the length of time it takes for larch cones to open, what the surface of the scale looks like before they are opened, and whether there are any visible features of the cone's external structure on its surface that change before and after the extraction process. The scope of research included: measuring the length and thickness of the cones, proposing a way to describe the shape of the cones, calculating the surface area and volume of closed cones using various mathematical models, the characteristics of the external and internal surface of cone scales in a fresh state, describing and measuring visible elements on the surface of European larch seed scales.

2. Methodology

2.1. Origin, characteristic parameters, shape, surface area and volume of the cones

Closed cones of the European larch from the seed plantation of the Barycz Forest District (RDLP Radom) were used for the research; these cones were collected in the winter of 2015 and subjected to the process of seed extraction in the Grotniki Forest District (RDLP Łódź).

The length (h), thickness (d) and mass (m) of 100 randomly chosen cones were measured using an electronic caliper with an accuracy of 0.1 mm to determine the external parameters of the closed cones, as well as a WPS-600 laboratory scale with an accuracy of 0.01 g to measure mass.

Additionally, the thickness of 32 cones was measured every 2 ± 0.1 mm. The area of the cones (Gawart, Miklaszewicz 2000) was determined, serving as the basis to calculate their surface area (S_{obl}) and volume (V_{obl}) using formulas (1) and (2):

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

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

For comparison, the surface area and volume of the studied cones was calculated using a second method, treating the cones as having a conical shape S_s (3) and V_s (5) and using well-known formulas, where d is the diameter of a cone at its thickest point, located at distance h_1 from the base, and l is the line creating the conical shape leading from the apex through diameter d to its base, and d_1 is the diameter of the base of the conical shape (Figure 1).

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

From the geometric relationships, it follows that

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

where: r_1 – is the radius of the base of the cone, r – the radius of the conical shape, α_s – equal to $h_1 \cdot h^{-1}$

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

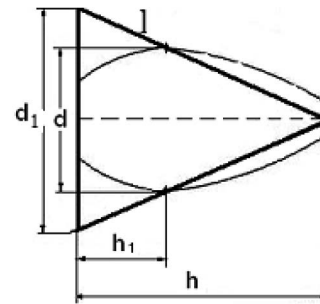


Figure 1. Geometric model mapping the shape of larch cones

In addition, the volume of the cone, V_p , was measured. A burette (beaker) filled with water was used for the measurements, assuming the volume of displaced liquid as the volume of a single cone. For cones with thickness of over 15 mm, a 25 cm³ burette was used, with measurements having an accuracy of 0.5 cm³. For the remaining cones, a burette with a capacity of 10 cm³ was used, with a measuring accuracy of 0.1 cm³.

In order to compare the calculated values from the models of surface area and volume, the indicators $k_1 = S/S_{obl}$ and $k_2 = V_{obl}/V_p$ or $k_3 = V_s/V_p$ were used.

A statistical description was made for the external parameters using the Statistica 10 program (StatSoft Inc. 2011). Agreement with the normal distribution was investigated using the W test (Shapiro-Wilk). The mean surface area and volume were compared using the F test. All analyses were performed at a significance level of $\alpha = 0.05$.

2.2. Characteristics of the construction of the surface of seed scales from the outer and inner sides of the cone

The research was conducted at the Analytical Centre of the Warsaw University of Life Sciences, using a Quanta 200 scanning microscope, with which 40 photographs of scales taken from the middle part of the cone were made.

In order to prepare a specimen of the same size as the holder in the microscope chamber, the scales were cut into two parts. Each specimen fragment was enlarged 50 and 500 times and photographed on the outer side and inner side, on which the seeds are placed, precisely describing the location on the scale where the photograph was taken.

Visible elements of the structure of the scale on the scanning microscope photographs, such as hairs and other structures, were measured in the laboratory of the Department of Forest Mechanization, Department of Agricultural and Forestry Machines, using the Multi Scan Base program v. 18.03. Their parameters (length, diameter) were assessed with Statistica 10 (StatSoft Inc. 2011).

3. Results

3.1. Size of the cones

The length of 100 randomly selected cones ranged from 18.0 mm to 31.1 mm, on average 23.0 ± 0.56 mm (standard deviation $\delta = 2.83$ mm), and the thickness from 10.9 mm to 21.7 mm, average 15.3 ± 0.38 mm ($\delta = 1.93$ mm).

The mass of fresh closed cones was on average 1.50 ± 0.08 g ($\delta = 0.43$ g) and ranged from 0.66 g to 2.55 g, and their humidity was on average 35%.

3.2. Determining the shape, surface area and volume of the closed cones

Table 1 shows the values of the length and thickness of 32 European larch cones chosen to establish the shape. The length of these cones was on average 23.6 ± 0.97 mm ($\delta = 2.8$ mm), and the thickness – on average 15.2 ± 0.76 mm ($\delta = 2.2$ mm).

Table 1. Characteristic parameters of larch cones

No. of cone	Length [mm]		α_s	Thickness [mm]
	h	h_l		
1	23.4	10.0	0.43	14.7
2	18.0	9.0	0.50	11.0
3	21.1	10.0	0.48	16.5
4	21.8	8.0	0.37	18.9
5	24.4	9.0	0.37	21.7
6	26.0	10.0	0.38	13.7
7	19.6	6.0	0.31	14.2
8	18.0	8.0	0.44	12.4
9	30.1	12.0	0.40	16.0
10	25.4	10.0	0.39	16.3
11	24.4	10.0	0.41	14.6
12	27.3	12.0	0.44	15.2
13	22.3	10.0	0.45	14.2
14	23.0	10.0	0.44	15.8
15	26.1	12.0	0.46	16.0
16	23.0	10.0	0.43	16.0
17	25.2	12.0	0.48	15.7
18	27.3	11.0	0.40	15.7
19	26.6	11.0	0.41	15.0

No. of cone	Length [mm]		α_s	Thickness [mm]
	h	h_l		
20	23.1	10.0	0.43	14.3
21	23.4	10.0	0.43	13.7
22	27.6	10.0	0.36	19.4
23	22.5	10.0	0.44	15.4
24	23.7	11.0	0.47	14.7
25	23.3	11.0	0.47	16.6
26	20.3	10.0	0.49	11.8
27	20.3	10.0	0.49	14.1
28	24.4	9.0	0.37	15.7
29	21.7	8.0	0.37	12.4
30	22.1	10.0	0.45	15.5
31	27.5	11.0	0.40	13.5
32	23.5	11.0	0.47	17.2
Mean	23.6	10.0	0.43	15.2
Standard deviation	2.8	1.3	0.05	2.2
Minimum	18.0	6.0	0.31	11.0
Maximum	30.1	12.0	0.50	21.7
Coefficient of variation	12.0	13.0	10.7	14.1

h_l, h – as in Figure 1

The analysis shows that increasing the length of a cone by 1 mm increases its thickness by 0.31 mm. This relationship is described by a linear function (6).

$$d = 0.308h + 7.960 \quad R^2 = 0.165 \quad (6)$$

After many attempts, a fourth-degree polynomial was chosen that well reflects the shape of the cones (Aniszewska, Błuszkowska 2016). The obtained coefficients of determination R^2 ranged from 0.974 to 0.999, on average 0.990 ± 0.02 ($\delta = 0.007$). The general equation for the shape of a cone is (7):

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

The mean, standard deviation, minimum and maximum values of the coefficients from A to E are provided in Table 2, and an example of the course of changes in the curve forming the cone in Figure 2.

The designated equations forming the individual cones allowed us to calculate the surface area S_{obl} and the volume V_{obl} using formulas (1) and (2) (Table 3).

The S_{obl} surface area, calculated from formula (1) ranged from 428.1 mm² for a cone of 18.0 mm in length and 11.0 mm thick to 1109.7 mm² for a 30.1 mm long and 16.0 mm thick cone, whereas V_{obl} volume, obtained with formula (2), was from 942 mm³ for a cone of 18.0 mm in length and 11.0 mm thick to 4835.6 mm³ for a cone of 24.4 mm in length and 21.7 mm thick.

Volume V_r is higher by 4 mm³ on average than volume V_{obl} , and the F test did not show any significant differences between them.

The high variability of coefficients A , B , C and E for individual cones means that despite the significant dependence of the length on the thickness of cones, it is not possible to apply the formula in practice to calculate the volume and surface area of any one larch cone when only its basic parameters are known (d and h). Therefore, formulas (3) and (5) were used to calculate the surface area S_s and volume V_s of the cones. These values differ significantly (based on the F test) from the surface area and volume calculated with formulas (1) and (2).

The values of α_s (Table 1) for individual cones were averaged and used in the calculation of the surface area S_s and volume V_s of the larch cones. The average α_s is 0.43 ± 0.02 ($\delta = 0.05$), while h_l is 10.0 ± 0.45 mm ($\delta = 1.3$).

The values of S_s and V_s are provided in Table 3. However, the formulas used to calculate the values provided in Table 3, according to the cone model and including α_s , are shown in equations (8) and (9). The constants provided are the result of the conversion of recalculations of equations 3–5.

$$S_s = 2.754 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{d^2}{1.3} + h^2} \quad (8)$$

$$V_s = 0.805 \cdot d^2 \cdot h \quad (9)$$

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

Parameter	Values of coefficients				
	A	B	C	D	E
Mean	-0.000119	0.006092	-0.156985	1.818285	0.043564
Standard deviation	0.0001456	0.005622	0.077277	0.406385	0.168299
Minimum	-0.000688	-0.004068	-0.357911	1.008622	-0.185385
Maximum	0.000098	0.024995	-0.001631	2.457081	0.500455

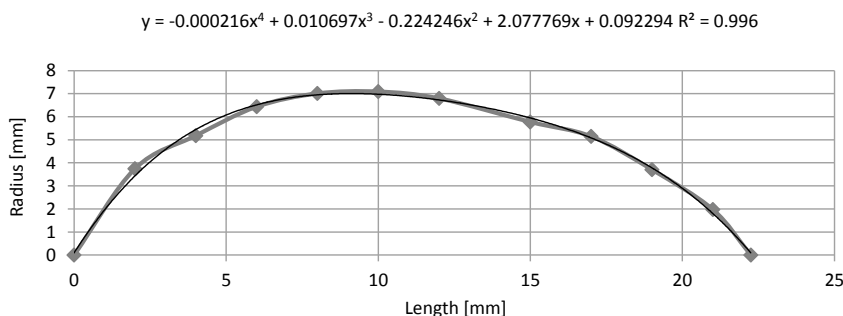


Figure 2. Cone outline data visualization

Table 3. Volume and surface for the tested larch cones

No. of cone	Volume [mm ³]				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

No. of cone	Volume [mm ³]				Surface area [mm ²]		
	V_{obl}	V_r	V_s	V_{sf}	S_{obl}	S_s	S_{sf}
Mean	2433.7	2437.5	4557.0	2415.2	780.4	1152.4	783.6
Standard deviation	828.2	859.0	1564.4	829.1	168.3	259.6	176.6
Minimum	942.8	1000.0	1717.7	910.4	428.1	610.8	415.3
Maximum	4835.6	5000.0	9210.4	4881.5	1109.7	1843.9	1253.9
Coefficient of variation	34.0	35.2	34.3	34.3	21.6	22.5	22.5

S_{obl}, V_{obl} – Surface area and volume of cones according to formula (1, 2)

S_s, V_s – Surface area and volume of cones according to cone model (3, 5)

S_{sf}, V_{sf} – Surface area and volume of cones calculated according to the formula for the inclusion of a fixed on a cone (10, 11)

V_r – volume of cones measured with buret

The surface area of a cone (S_s) is from 610.8 mm² to 1834.9 mm², on average 1152.4 ± 89.90 mm² ($\delta = 259.6$ mm²), and the volume (V_s) is from 1717.7 mm³ to 9210.4 mm³, on average 4557.0 ± 541.7 mm³ ($\delta = 1564.4$ mm³) (Table 3).

The volume values calculated from the cone model were equated to V_r . The mean value of the k_2 index determining the ratio of the V_{obl} calculated volume to the V_r measurement was 1.01 ± 0.04 ($\delta = 0.11$). The high agreement of the V_{obl} calculated volume according to the function of the fourth-degree polynomial with the value of the V_r measurement of the cone allows us to state that the S_{obl} surface area calculated with this method is a good approximation of the actual values.

The value of the k_1 index, which is the ratio of the surface area calculated with the S_s cone model to the S_{obl} surface area, according to the function of the fourth-degree polynomial, ranges from 1.30 to 1.67, on average 1.48 ± 0.03 ($\delta = 0.10$).

The value of the k_3 index, which is the ratio of the V_s volume calculated with the cone model to the V_r volume, ranges from 1.36 to 2.52, on average 1.9 ± 0.03 ($\delta = 0.10$).

In order to apply the cone model to calculate the surface area (S_{sf}) and volume (V_{sf}), the obtained values should be multiplied by the constants 0.68 and 0.53 resulting from the conversion of k_1 and k_3 .

$$S_{sf} = S_s \cdot 0.68 \quad (10)$$

$$V_{sf} = V_s \cdot 0.53 \quad (11)$$

The calculated values for the S_{sf} surface area and V_{sf} volume are on average 773.6 ± 61.2 mm² ($\delta = 176.6$ mm²) and 2415.2 ± 287.1 mm³ ($\delta = 829.1$ mm³) (Table 3). A graphic comparison of the surface and volume fields calculated with the different methods is shown in Figure 3.

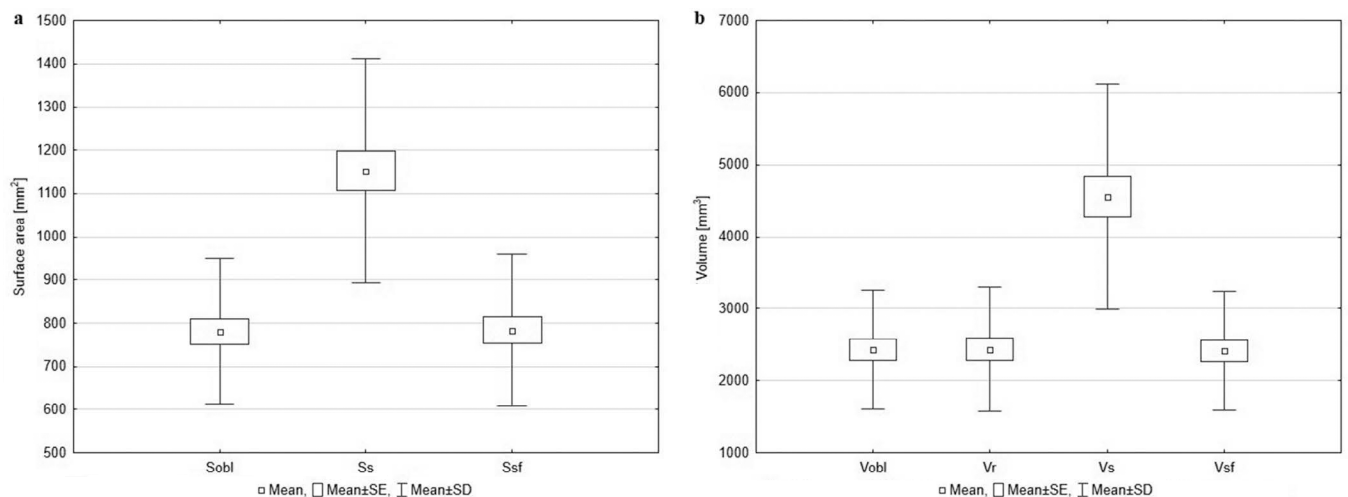


Figure 3. Comparison of mean values, standard errors and standard deviations for the test computational models: *a* – surface area, *b* – volume: S_{obl}, V_{obl} – calculated from the formula 1 and 2, S_s, V_s – calculated according to the formula on a cone (8, 9), S_{sf}, V_{sf} – calculated according to the formula for the inclusion of a fixed on a cone (10, 11), V_r – with water

The multiple comparisons test allowed us to distinguish homogeneous groups. Three homogeneous groups were determined for volume: V_{obl} and V_{sf} ($p = 0.9447$), V_{obl} and V_r ($p = 0.9887$) and V_r and V_{sf} ($p = 0.9381$). For the surface area, one homogeneous group was distinguished, made up of S_{obl} and S_{sf} ($p = 0.9509$).

3.3. Characteristics of the construction of the inner and outer surface of seed scales

Figure 4a shows the apical and middle part of the inner side of a European larch scale at $\times 50$ magnification, and Figure 4b shows the fragment of this scale enlarged 500 times.

Figure 4a shows two areas differing in structure. The first, occupying over 80% of the surface of the scales, is where the wings rest on the scale. The surface is characterised by an uneven structure and consists of ragged cells with thin cell walls. Such a structure of this part of the scale is probably the result of the wings separating from the scale as the cone is opening. Figure 5a shows the second area of the surface of the scale between the locations of the wings.

The wing does not rest against the location shown in Figure 5b, and the surface of the scale is smooth. In this part, you can notice small protruding trichomes, called ‘hairs’ on the surface of the scales of silver fir by Kaniewski and Kucewicz (1978). The length of the trichomes visible in this part of the scales ranges from $23.42 \mu\text{m}$ to $51.77 \mu\text{m}$ and is on average $37.42 \pm 2.86 \mu\text{m}$ ($\delta = 10.30 \mu\text{m}$), while the diameter ranges from $19.27 \mu\text{m}$ to $34.03 \mu\text{m}$ with an average of $25.82 \pm 1.16 \mu\text{m}$ ($\delta = 4.18 \mu\text{m}$).

Figure 6 shows the basal part of the inner side of the larch scale where the seed is located. In this part, you can also distinguish two areas that differ in structure.

The first photo shows the area where the seed is placed. Thin-walled cells with irregular shapes are visible on the scale. The second is the area outside of where the seed is placed. Cells visible in this part are thick-walled, regular and close-fitting. Figure 7b shows a clear, bright line, which is the boundary of the seed’s position on the seed scale.

After describing the inner side of the scale, the outer sides of the same scales were characterised. Figures 8 and 9 show

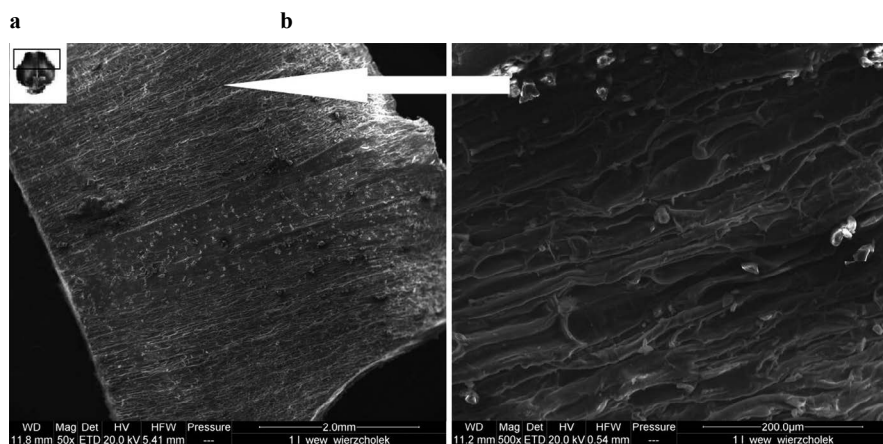


Figure 4. The upper part of the scales from the inside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)

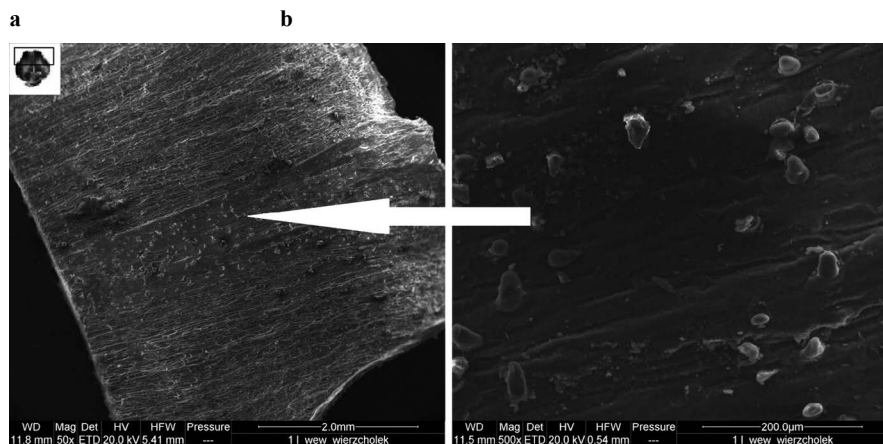


Figure 5. The upper part of the scales from the inside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)

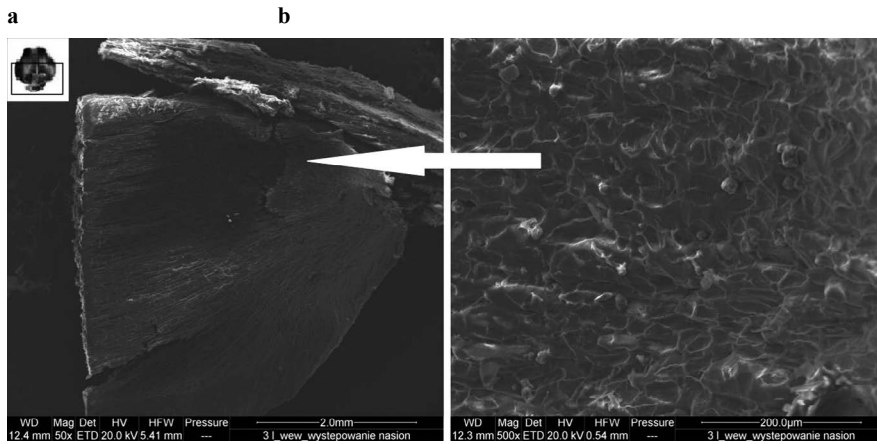


Figure 6. The basal part of the scales from the inside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ – the site of the seed (Stadnik, Śliwińska 2015)

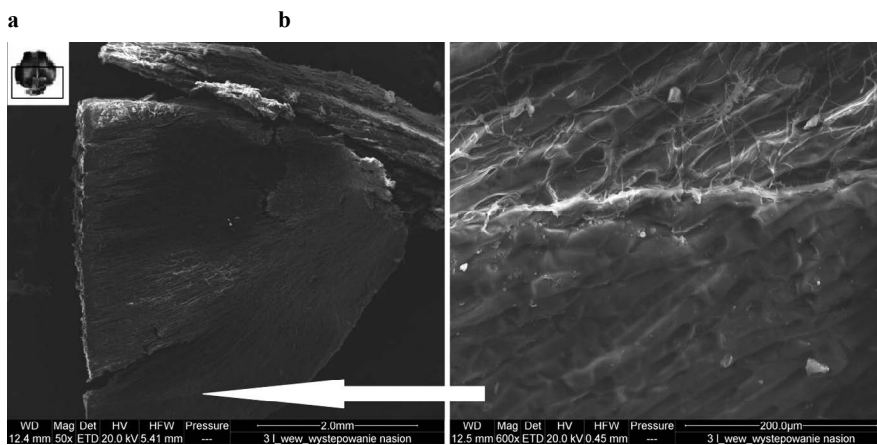


Figure 7. The basal part of the scales from the inside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ – off-site seed (Stadnik, Śliwińska 2015)

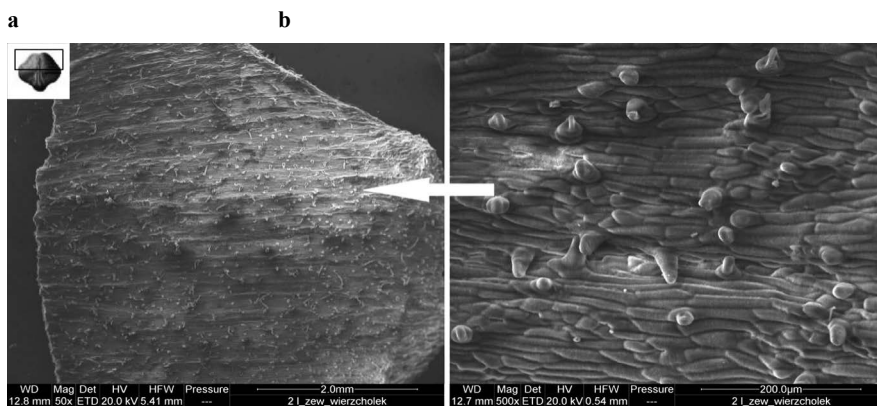


Figure 8. The upper part of the scales from the outside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)

the apex and middle part of the scale with the magnification of selected locations.

The surface of the apical portion on the outer side has regular and thick-walled cells that are tightly arranged, side by side. There are also noticeable single, short trichomes (hairs) in between the sites where the wings are found (Fig. 5) – similar to the inner part. Their average length on this part of the scale is

$36.22 \pm 2.21 \mu\text{m}$ ($\delta = 7.96 \mu\text{m}$) with a range from $27.49 \mu\text{m}$ to $49.86 \mu\text{m}$, while the diameter is $25.00 \pm 1.07 \mu\text{m}$ ($\delta = 3.87 \mu\text{m}$) with a range from $16.14 \mu\text{m}$ to $28.4 \mu\text{m}$.

The surface of the central part of the scale differs slightly from the surface at the apex. It is characterized by a lower number of trichomes per 1 mm^2 , most of which are longer by an average of $6 \pm 1.07 \mu\text{m}$ ($\delta = 3.85 \mu\text{m}$) compared to the

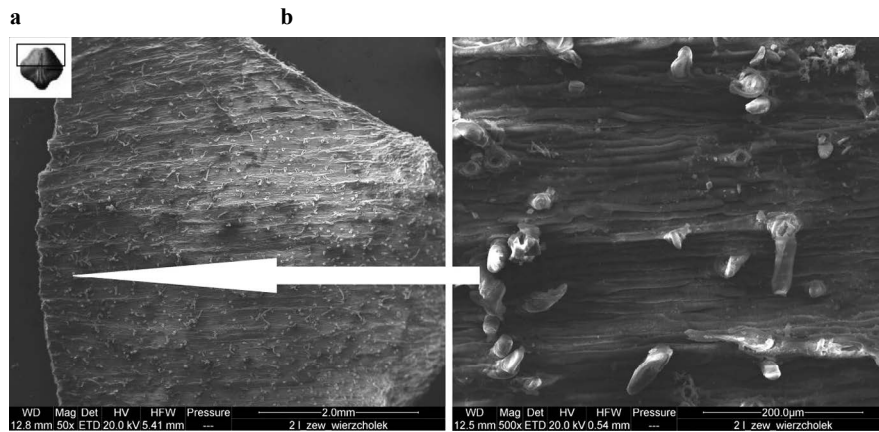


Figure 9. The central part of the scales from the outside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ (Stadnik, Śliwińska 2015)

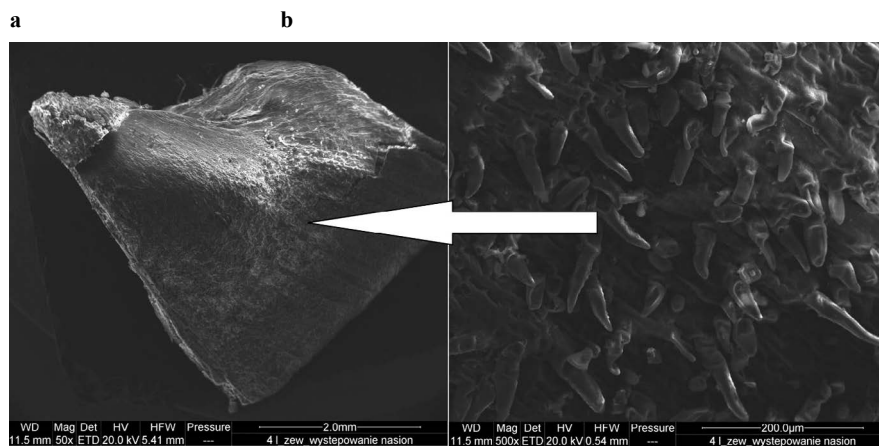


Figure 10. The basal part of the scales from the outside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ – above the position of the seed (Stadnik, Śliwińska 2015)

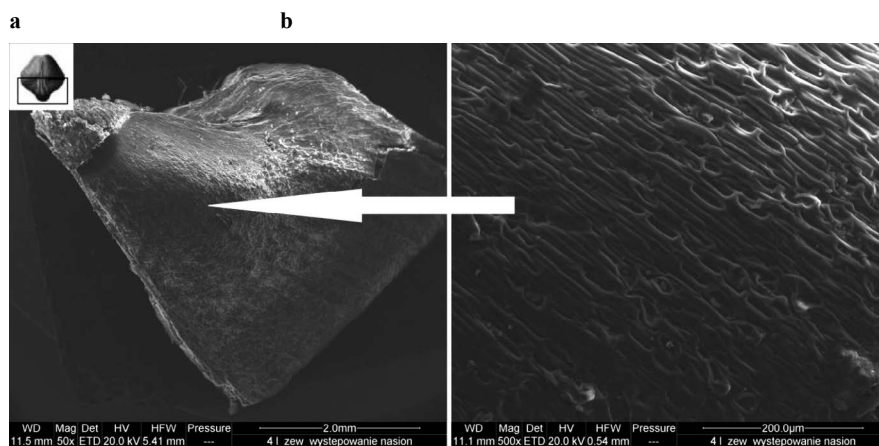


Figure 11. The basal part of the scales from the outside of the (a) $\times 50$ and (b) $\times 500$ – the site of the seed (Stadnik, Śliwińska 2015)

protrusions of the apical part. The cells building this part of the scale are arranged parallel to each other.

Figures 10 and 11 depict the lower part of the scales from the outer side. Figure 10 shows the site above the placement of the seed. The surface structure is strongly ruptured with noticeable bands of cells, and on the visible fragment (Fig. 10b), there are

numerous trichomes through which moisture most likely passes when the scales open. The length of the trichomes on this part of the scale ranges from $47.15 \mu\text{m}$ to $126.61 \mu\text{m}$ and is on average $78.31 \pm 6.86 \mu\text{m}$ ($\delta = 24.74 \mu\text{m}$), while the diameter in the central area of the trichomes is on average $22.91 \pm 1.13 \mu\text{m}$ ($\delta = 4.09 \mu\text{m}$) and ranges from $15.95 \mu\text{m}$ to $32.05 \mu\text{m}$.

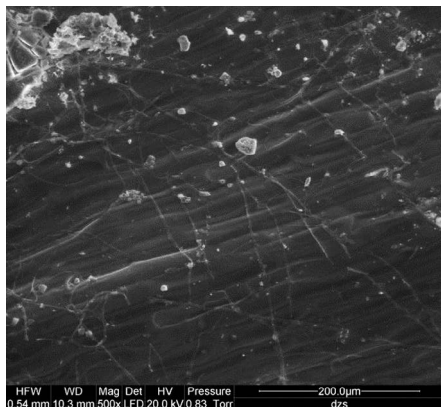


Figure 12. The threads one of the scales from the outside of the $\times 500$

Figure 11 shows the area at the level where the seed is found. This surface is characterized by many thick-walled cells, connected to each other and resembling long chains.

When analysing the F and Duncan tests on the size of the hairs visible on the outer surface of the scale's apical, middle and lower parts, they reveal that the length of the hairs in the distinguished zones differs significantly from each other, whereas the tests did not show any significant differences for the diameter of the hairs. In turn, the hairs visible on the inner side of the scale in terms of length ($p = 0.88$) and diameter ($p = 0.62$) do not differ significantly from those visible on the outer side in the apical part of the scale, but does differ significantly from the hairs visible in its middle and lower parts.

Long strands resembling threads are visible on the outer surface of the seed scale (Figure 12). The average length of 30 measured cells with a diameter in the range of $3.04 \pm 0.21 \mu\text{m}$ ($\delta = 0.75 \mu\text{m}$) is $396 \pm 36.00 \mu\text{m}$ ($\delta = 129.87 \mu\text{m}$).

4. Discussion

The subject of the variability of the cones and seeds of certain conifer species occurring in Poland has been discussed by a number of authors. The variations of pine cones and seeds were addressed by Zajączkowski (1949), Staszkiwicz (1968), Białoboket al. (1993), and Aniszewska (2012); Norway spruce: Chmielewski (1968), Barzdajn (1996), Kulej and Skrzyszewska (1996), Tomanek (1997), Aniszewska (2001), Buraczyk (2009); and silver fir: Tracz and Barzdajn (2007), Barzdajn (2009) and Aniszewska and Błuszkowska (2016). The issues of variability, bulk density and transport properties of pine, spruce and larch cones were discussed by Aniszewska and Gendka (2016a, 2016b). There are few studies on the variability of the European larch cones, among them, one can cite the work of Bałuta (1969), Šindelář (1972) or Vilcana et al. (2011). Vilcana et al. (2011) compare the size of the cones and

seeds of seven origins. The mass, length and thickness of European larch cones described in that study are greater than the parameters we measured here. For example, the average mass of larch cones originating from Sinaia, Romania was 4.93 g, length – 3.69 cm, and thickness – 2.09 cm. Comparing the Barycz Forest District cones of this article to those surveyed by Vilcana et al. (2011), we can say that the former are small.

In the available literature, one can find more publications on the parameters of the larch seeds themselves, their size, weight and quality. They were examined, among others, by Tylek (2004), Skrzypczyńska and Kozioł (2001) and Kaliniewicz et al. (2012).

Optimizing extraction technologies aimed at reducing energy expenditures requires learning about the factors affecting this process. These include the thermal and humidity parameters of the process (temperature and humidity of the air supplied to the harvesting equipment and the intensity of the exchange), and the phenomena occurring in the cones – among others, changes in humidity and the opening of the scales leading to the seeds being released. In searching for these factors, mathematical models describing changes in the state of the cones during the extraction process may be helpful. The presented study mathematically describes the shape of the European larch cones depending on the dimensions of length and thickness. The designated equation for individual cones allowed us to calculate the volume and area of the cone. Using this methodology, Gawart (2000), Aniszewska (2001) and Aniszewska and Błuszkowska (2016) described the shape and calculated the volume and surface area of the cones of other species: Scots pine, Norway spruce and silver fir. The geometric structure of the cones of all three species is described exactly by the fourth-degree polynomial, whose coefficients are mostly dependent on the basic parameters of the cones. However, it is impossible to generalize these coefficients for the entire set of cones of the studied species. Therefore, we proposed that the surface area and volume of the cones be calculated using the conical (pine, spruce, larch) and cylindrical (fir) shapes. Constants were introduced into the formulas for the surface area and volume of the conical or cylindrical shapes, thanks to which the obtained results did not differ significantly from the actual values. For example, when calculating the volume of larch cones, the constant of 0.53 was introduced into the formula, and for the surface area calculation – the constant of 0.68. In the case of fir cones, the formulas for the volume and surface area of the cylinder had constants of 0.71 and 0.81, respectively.

The article also describes the construction of the surface of the seed scales. The method used was previously applied to Scots pine (Aniszewska 2012) and silver fir scales (Aniszewska et al. 2017), as well as to larch wings and seeds (Aniszewska 2014). It was noted that the surface of the scales on the outer and inner – where the seeds are located – sides differs significantly. The outer side of the scale

is usually built of similarly sized thick-walled cells along the entire length. The upper part of pine and fir scales have an apophysis, which is missing in the larch. On the inner side, two parts of the scales can be distinguished: the first where the wing rests, and the second one, outside of this area. The first section is made of ragged cells, most likely formed as the result of the wings and seeds tearing away from this part of the scale. In other species, the inner surface can be distinguished by: cells arranged in a row of chains (Scots pine), small hairs and cells with thick walls (silver fir and European larch). The second part, like the outer surface of the scales, is characterized by regularly arranged cells. In addition, cells resembling long threads on the whole surface were noticed on the scales of the European larch. This element of construction is characteristic of larch scales, because it is not found on the surface of the cone scales of any other species studied.

The size parameters of the cones and their dependencies, as well as the description of the structure of the seed scales presented in the article gave no final answer to the question posed about the reasons why it takes a long time for the larch cones to open. It may be that we still need to learn about and make a detailed description of the cell structure and chemical composition of this species' cones.

5. Conclusions

The shape of larch cones is quite accurately described by a curve, which is a fourth-degree polynomial. The high variability of the empirical coefficients of the equation obtained for individual cones makes it impossible to generalize them to any one cone or use them to calculate their volume and surface area.

The general calculation model describing the surface area and volume of European larch cones can be the cone model that includes a constant of $\alpha_s = 0.43$. Additionally, the volume values should be multiplied by a constant of 0.53, and the surface area by a constant of 0.68. Analysis of the results showed that after introducing these constants, the surface area and volume of cones varied by 3.5% and 5.0%, respectively, from the actual values.

The microscope examination of the surface of the larch scales did not answer the question concerning the reasons for the long time required to extract the seeds. Further work in this area is needed.

Conflict of interest

The authors declare that there are no potential conflicts of interest.

Acknowledgements and sources of funding

The research was funded from the funds of the Faculty of Production Engineering, Warsaw University of Life Sciences.

References

- Aniszewska M. 2014. Analiza budowy skrzydełek modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) w aspekcie procesu odskrzydłania. *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.) – różnicowanie 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 Silvicultura. 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, 1993. 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 wyluszcarka nasion modrzewia. *Sylwan* 102(3): 83–86.
- Gawart B. 2000. Zmienność budowy anatomicznej szyszek sosny. Praca magisterka. 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 Wisła. *Sylwan* 140(5): 105–120.
- Sarnowska G., Więsik J. 1997. Wyluszcarnia w Czarnej Białostockiej. Część II. Proces wyluszczenia 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 magisterka. 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. Start Soft. www.statsoft.com.
- Šindelář J. 1972. Někteře nově poznatky o fruktifikaci modřina evropskeho *Larix decidua* Mill. *Pr VULHM Výzk Ustav Lesn Hospod Myslivosti*.
- 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 salba* 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
- Vilcan, A., Holonec, L., Ioan, T. A. U. T., & 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. Comparison of methods of seed extraction by drying cones and mechanical one of European larch seeds *Larix decidua* Mill. *Forest Research Papers* 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

Authors' contributions

M.A. – concept, literature review, methodology, measurements, analysis of results, statistical analysis, conclusions, writing; S.S. – measurements, analysis of results; A.G. – analysis of results, correction.