

Zmienność szyszek jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) – zróżnicowanie budowy powierzchni łusek nasiennych

Variability of silver fir (*Abies alba* Mill.) cones – variability of scale surface area

Monika Aniszewska*, Arkadiusz Gendek, Joanna Śliwińska

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

*Tel. +48 22 5934523, e-mail: monika_aniszewska@sggw.pl

Abstract. This study was conducted on a batch of closed silver fir cones from Jawor Forest District and a mixture of scales from the seed extraction facility Grotniki. The scales were divided into three size classes corresponding to the bottom, middle and upper part of the cones and their area was measured with the Multi Scan Base v.18.03 software. Based on the sum of the inner and outer surface area of all scales, we then determined the total area of evaporation from the cones. In addition, the area of protruding scales was measured for differently sized scales from different parts of the cones. Previous studies have shown that the average outer surface of a closed cone, calculated as the sum of protruding scales, accounts for 10% of the outer surface of an open cone. Pictures of both scale surfaces with the internal seed bed and the external protrusions were taken using a scanning electron microscope. We noticed significant differences in dimension and shape of the channels and trichomes on the scale surface. On the inner side of the scales, we found a high diversity of trichomes of different lengths, whilst the outer side contained channels. Presumably, these characteristics affect the rate of water loss from the cones during desiccation and separation of the seed. In-depth knowledge on the evaporative surfaces of fir cones and scale structure will be helpful for optimizing the industrial processes of seed extraction.

Keywords: cone, scale, area of evaporation, scanning electron microscope

1. Wstęp

Pozyskiwanie nasion jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) nie wymaga posiadania specjalnych urządzeń, gdyż jej szyszki w sposób naturalny rozpadają się na trzpienie, łuski oraz uskrzydłone nasiona, choć wymaga to czasu. Proces rozpadu szyszek opisali w 1978 roku Kaniewski i Kucewicz, a budowę łusek pączków wegetatywnych jodły – Kaniewski i inni (1972). Według nich szyszka jodły, w ostatnim okresie rozwoju, traci dużo wody. Na to zjawisko wpływają sklereidy, występujące w szyszce w znacznych ilościach i odznaczające się właściwościami higroskopijnymi. Kurczenie się sklereidów w części osiowej szyszek i w łuskach wywołuje działanie sił przeciwstawnych, które powodują rozrywanie połączenia poszczególnych łusek z trzpieniem szyszek. W celu kontrolowanego pozyskania nasion jodły szyszki zbiera się z drzew przed ich rozpadem, a następnie podsusza i oddziela nasiona. Uskrzydłone nasiona jodły poddaje się odskrzydłaniu i oczyszczaniu. Wszystkim etapom obróbki nasion jodły towarzyszy szczególna troska o niedopuszczenie do uszkodzenia

nia pęcherzyków żywicznych na ich powierzchni, ponieważ rozlana żywica przyczynia się do obniżenia jakości nasion (Tyszkiewicz 1949).

W artykule Aniszewskiej, Błuszkowskiej (2016) opisano parametry zewnętrzne szyszek jodły, ich współzależności, liczbę łusek, masę i gęstość pozorną szyszek, a także zaproponowano modele obliczeniowe pola powierzchni i objętości szyszek. Natomiast w tej pracy podjęto próbę obliczenia wielkości powierzchni parowania wody z łusek jodły oraz opisano ich powierzchnie zewnętrzną i wewnętrzną na podstawie zdjęć wykonanych za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego. Przeprowadzone badania przyczyniają się do lepszego poznania parametrów szyszek jodły, w tym łusek nasiennych, ich budowy oraz procesów w nich zachodzących. W rezultacie pozwoli to efektywniej prowadzić proces pozyskania nasion w warunkach kontrolowanych w wyluszczeniach gospodarczych.

Mikroskopia elektronowa, zastosowana w badaniach łusek jodły, to obecnie powszechna technika służąca do charakterystyki powierzchni, składu chemicznego, obszarów przypowierzchniowych oraz nanostruktur w budowie materiałów

Wpłynęło: 21.11.2015 r., recenzowano: 5.02.2016 r., zaakceptowano: 22.04.2016 r.

(Kelsall et al. 2008; Gilewska 2010). Od czasu wynalezienia transmisyjnego mikroskopu elektronowego metoda ta stała się główną techniką, pozwalającą obserwować materiały i struktury atomowych rozmiarów (Aleszkiewicz 1998; Barbacki 2007). Znalazła zastosowanie w inżynierii materiałowej i metalurgii, m.in. w badaniach zużycia trybologicznego, zniszczeń korozyjnych, kontroli jakości materiałów (Klimek 2013; Kuźnia et al. 2012; Pashechko et al. 2011), w biologii oraz medycynie przy określaniu struktur i procesów wewnątrzkomórkowych (Koczeń 1986; Krajewski 1992; Bae et al. 2003; Świercz et al. 2014), a także w badaniach zoologicznych, rozpoznawaniu substancji chemicznych oraz technikach śledczych.

2. Materiał i metody

2.1. Pole powierzchni łuski i tarczki jodły pospolitej

Z 30 badanych szyszek jodły pospolitej pozyskanych w gospodarczym drzewostanie nasiennym w Nadleśnictwie Jawor (Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych we Wrocławiu) pobrano po jednej łusce z dolnej, górnej i środkowej części szyszki.

W zależności od miejsca położenia łusek szyszki i ich wymiarów wyróżniono trzy grupy – łuski małe, średnie i duże (ryc. 1). Każdej łusce z obu stron wykonano zdjęcia cyfrowe w rozdzielczości 3872×2592 piksela, które poddano analizie, korzystając z programu Multi Scan Base v.18.03, który po skalibrowaniu z wzorcem pomiarowym podawał wyniki z dokładnością do 0,01 mm. Zmierzono pole wewnętrznej powierzchni łuski, na której położone są nasiona (ryc. 2a) oraz pole powierzchni zewnętrznej. Na tej ostatniej obrysowano powierzchnię zajmowaną przez tarczkę (ryc. 2b).

Wykonane pomiary pozwoliły na obliczenie wielkości powierzchni parowania szyszki w stanie otwartym ($S_{p.o.}$) i zamkniętym ($S_{p.z.}$). W celu porównania wielkości powierzchni parowania wody w szyszce zamkniętej z powierzchnią obliczoną ($S_{obl.}$) według wielomianu czwartego stopnia (Aniszewska, Błuszkowska 2016, tab. 3) wprowadzono wskaźnik zgodności:

$$k_1 = \frac{S_{obl.}}{S_{p.z.}} \quad (1)$$

Poddano analizie zależność powierzchni parowania otwartej szyszki od długości szyszki.

2.2. Charakterystyka budowy powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej łuski jodły pospolitej

Każda z pobranych łusek nasiennych została przecięta na trzy części, co pozwoliło wyróżnić: część przytrzępieniową, środkową i wierzchołkową. Następnie oznaczone fragmenty łuski umieszczano w komorze mikroskopu skaningowego Ouanta 200 i powiększano obraz wybranych części łusek 50 oraz 500 razy. Po określeniu miejsca wykonania zdjęcia na łusce zapisywano je w formacie bezstratnej kompresji

TIFF, który umożliwia późniejszą obróbkę zdjęć. W programie Multi Scan Base v.18.03 dokonano analizy zdjęć z mikroskopu skaningowego, mierząc długość i średnicę wypustek.

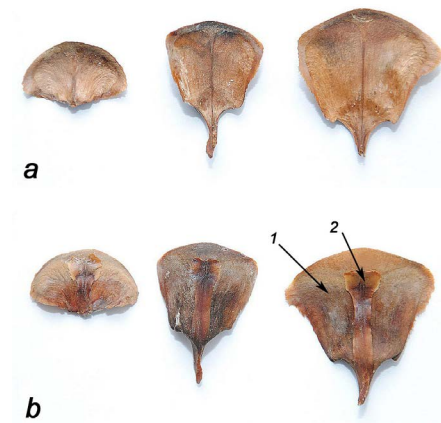
W artykule przedstawiono tylko opis budowy powierzchni łuski nasiennej. Każda łuska nasienne posiada wewnętrzną (tam gdzie znajdują się nasiona) i zewnętrzną stronę z widoczną tarczką.

Do analizy badanych parametrów wykorzystano program Statistica (StatSoft Inc. 2011). Wszystkie analizy wykonano na poziomie istotności $\alpha=0,05$.

3. Wyniki

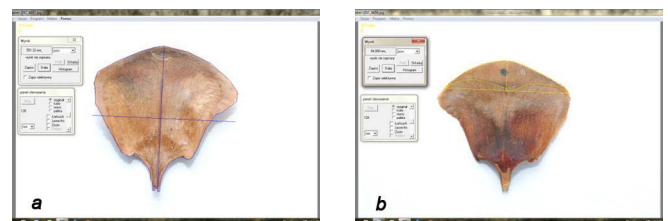
3.1. Powierzchnia parowania otwartej i zamkniętej szyszki jodły pospolitej

Powierzchnia parowania otwartej szyszki jodły pospolitej jest sumą powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej jej łusek. W tabeli 1. podano statystyki opisowe wyników pomiarów obu powierzchni łusek: małych, średnich i dużych oraz tarczek.



Rycina 1. Widok łusek jodły pospolitej z części dolnej (małe), górnej (średnie) i środkowej (duże) szyszki: a – strona wewnętrzna łusek, b – strona zewnętrzna łusek: 1 – łuska nasienne, 2 – łuska wspierająca (fot. A. Gendek)

Figure 1. View scales silver fir from the basal part (small), distal part (average) and middle part (large) cones: a – page inner scales, b – page outer scales: 1 – cone scale, 2 – bract (fot. A. Gendek)



Rycina 2. Obrys i pomiar powierzchni łuski jodły pospolitej: a – całkowitej, b – tarczki na powierzchni zewnętrznej

Figure 2. The contour and surface measurement of silver fir scales: a – total, b – apophysis on the outer surface

Tabela 1. Podstawowe statystyki opisowe powierzchni łusek i tarczек szyszek jodły pospolitej

Table 1. Basic statistical description of surface scales and apophysis of silver fir cones

Dane Data	Powierzchnia / Field area [mm ²]					
	łuski / scales			tarczki / apophysis		
	małe small	średnie average	duże large	małe small	średnie average	duże large
Średnia Mean	192,1	356,0	453,3	50,8	77,7	97,6
Odchylenie standardowe Standard deviation	28,0	22,6	47,7	2,2	2,0	3,8
Min Min	120,4	304,4	379,7	46,7	72,0	87,3
Max Max	243,9	400,4	552,3	55,9	83,1	105,6

Średnia powierzchnia pojedynczej małej łuski szyszki jodły pospolitej wyniosła około 192 ($\pm 10,46$) mm², a dużej łuski – 453 ($\pm 17,81$) mm². Wielkość powierzchni małej tarczki to średnio 51 ($\pm 0,82$) mm², natomiast powierzchnia dużej tarczki oscylowała w granicach 98 ($\pm 1,42$) mm². Stwierdzono istotną zależność powierzchni parowania wody z szyszki otwartej od długości szyszki. Z równania liniowego (2) wynika, że wzrost długości szyszki o 1 mm powoduje zwiększenie powierzchni parowania otwartej szyszki o 733 mm².

$$S_{p.o.} = 733,2 h + 18884 \quad R^2 = 0,7280 \quad (2)$$

gdzie:

h – długość szyszki, mm.

Powierzchnia parowania wody pojedynczej szyszki obliczona została dla średniej liczby łusek w szyszkach jodły pospolitej $n=185$ (tab. 2).

Przyjmując teoretyczne założenie, że szyszka jodły składa się wyłącznie z łusek małych lub z łusek dużych, teoretyczna powierzchnia parowania wynikająca z pomiarów wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni łuski będzie zawierała się w zakresie od 71 069,9 do 167 732,1 mm². W rzeczywistości szyszki jodły posiadają łuski różnej wielkości, dlatego po szczegółowej analizie wielkości powierzchni łusek i ich rodzaju (małe, średnie, duże) dla badanego pochodzenia oraz wielkości szyszek (Aniszewska, Błuszkowska 2016, tab. 1) obliczono, że przeciętna szyszka, posiadająca 185 łusek, miała około 20% małych łusek, 25% średnich łusek oraz 55% dużych łusek, czyli odpowiednio 37, 46 i 102. Zatem powierzchnia parowania wody z otwartej szyszki wyniosła ok. 139 336,7 ($\pm 5728,2$) mm² (tab. 2).

Przyjmując, że powierzchnia parowania zamkniętej szyszki jodły pospolitej stanowi powierzchnię widocznych jej tarczек, to średniej szyszka o 185 łuskach małych, średnich albo dużych ma odpowiednio 9403,6 mm², 14 374,5 mm² albo 18 048,6 mm². Przekiętna szyszka posiadała około 20% małych łusek, 25% średnich łusek i 55% dużych łusek, zatem powierzchnia parowania zamkniętej szyszki wyniosła ok. 15 395,5 ($\pm 632,92$) mm² (tab. 2). Powierzchnię parowania zamkniętej szyszki ($S_{p.z.}$) porównano do powierzchni ob-

liczonej, korzystając z funkcji wielomianu czwartego stopnia ($S_{obl.}$), która wynosiła 15 698,0 mm² (Aniszewska, Błuszkowska 2016, tab. 3). O zgodności omawianych wartości świadczą wysoki wskaźnik k_1 równy średnio 1,02 ($\pm 0,074$) (tab. 2).

Porównanie powierzchni parowania szyszki otwartej i zamkniętej pozwoliło na określenie udziału powierzchni tarczек w stosunku do powierzchni całych łusek w szyszce jodły, który wyniósł 11,0%.

3.2. Opis budowy powierzchni (epidermy) wewnętrznej i zewnętrznej łuski jodły pospolitej

Każda szyszka jodły pospolitej posiada dwa rodzaje łusek: nasienne i wspierające (okrywające), przy czym pierwsze z wymienionych są większe i znajdują się na nich zazwyczaj po dwa trójkątne nasiona ze skrzydełkami. Łuska okrywająca dotyka zewnętrznej strony łuski nasiennej, zakończona jest jęczyczkowato i wygięta do podstawy szyszki.

Na rycinie 3 przedstawiono zdjęcia górnego fragmentu łuski jodły od wewnętrznej strony, wykonane za pomocą mikroskopu skaningowego w powiększeniu (a) 50x oraz (b) 500x. Na powierzchni łuski widoczne są liczne wypustki (włoski) różnej długości i średnicy. Wypustki o najmniejszych wymiarach zewnętrznych położone są przy samej krawędzi łuski. Pomiędzy wypustkami zauważalne są cząstki – prawdopodobnie żywiczne.

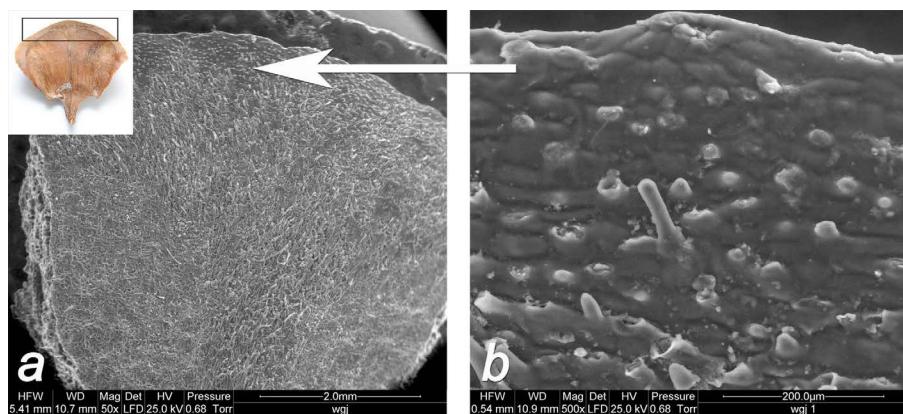
Na rycinie 4b przedstawiającej środkową część łuski stwierdzono występowanie większej liczby wypustek na jednym milimetrze kwadratowym w porównaniu do jej górnej części (ryc. 3b). Wypustki w części środkowej posiadają większe parametry zewnętrzne niż wypustki występujące przy krawędzi łuski. Średnia długość tych wypustek wynosiła 0,103 ($\pm 0,016$) mm, natomiast średnica w najgrubszym miejscu – 0,034 ($\pm 0,0033$) mm (tab. 3).

Na rycinie 5 przedstawiono powiększenie miejsca, do którego przylega skrzydełko nasienia jodły. Ta część łuski nie posiada wystających wypustek, natomiast powierzchnia jest chropowata, z cienkimi, wystającymi i poszarpanymi ścianami komórkowymi.

Tabela 2. Liczba lusek i powierzchnia parowania z szyszki otwartej i zamkniętej

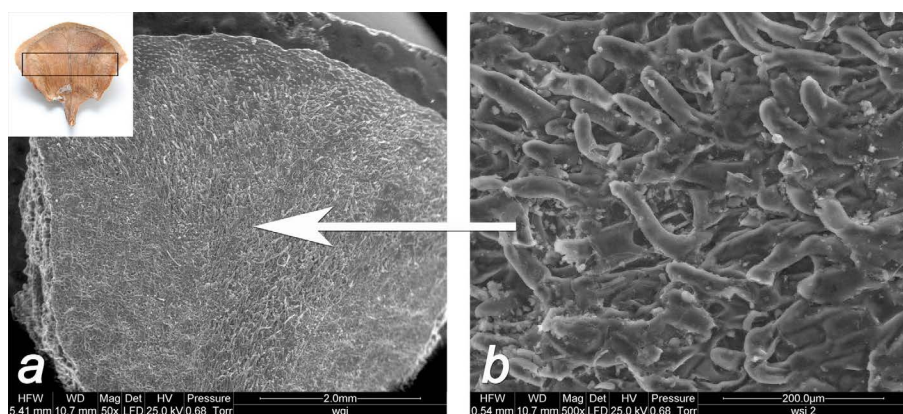
Table 2. Number of scales and surface evaporation from the opened and closed cones

Szyszki Cones	Łuski Scales				Powierzchnia parowania wody z szyszki Surface evaporation of water from the cones		Wskaźnik zgodności Coefficient
	całkowita total	małe small	średnie average	duże large	otwartej opened	zamkniętej closed	k_1
	szt. / pcs.				$\times 10^3 \text{ mm}^2$		-
1	187	37	47	103	140,89	15,57	0,79
2	184	37	46	101	138,63	15,32	1,10
3	188	38	47	103	141,65	15,65	0,91
4	216	43	54	119	162,74	17,98	1,45
5	199	40	50	109	149,94	16,57	1,04
6	182	36	46	100	137,13	15,15	0,89
7	157	31	39	86	118,29	13,07	0,85
8	202	40	51	111	152,20	16,82	1,08
9	155	31	39	85	116,78	12,90	0,89
10	162	32	41	89	122,06	13,49	0,92
11	190	38	48	105	143,15	15,82	1,22
12	192	38	48	106	144,66	15,98	1,20
13	202	40	51	111	152,20	16,82	1,12
14	197	39	49	108	148,43	16,40	0,91
15	186	37	47	102	140,14	15,48	1,22
16	152	30	38	84	114,52	12,65	1,07
17	196	39	49	108	147,68	16,32	1,21
18	198	40	50	109	149,18	16,48	1,13
19	197	39	49	108	148,43	16,40	0,88
20	206	41	52	113	155,21	17,15	0,93
21	179	36	45	98	134,87	14,90	1,36
22	177	35	44	97	133,36	14,74	1,22
23	192	38	48	106	144,66	15,98	1,00
24	176	35	44	97	132,61	14,65	1,03
25	174	35	44	96	131,10	14,49	1,23
26	125	25	31	69	94,18	10,41	0,90
27	171	34	43	94	128,84	14,24	0,82
28	208	42	52	114	156,72	17,32	0,88
29	179	36	45	98	134,87	14,90	0,59
30	219	44	55	120	165,00	18,23	0,66
Średnia Mean	184,9	37,0	46,2	101,7	139,34	15,39	1,02
Odchylenie standardowe Standard deviation	20,4	4,1	5,1	11,2	15,34	1,69	0,20
Min Min	125,0	25,0	31,3	68,8	94,18	10,41	0,59
Max Max	219,0	43,8	54,8	120,5	165,00	18,23	1,45



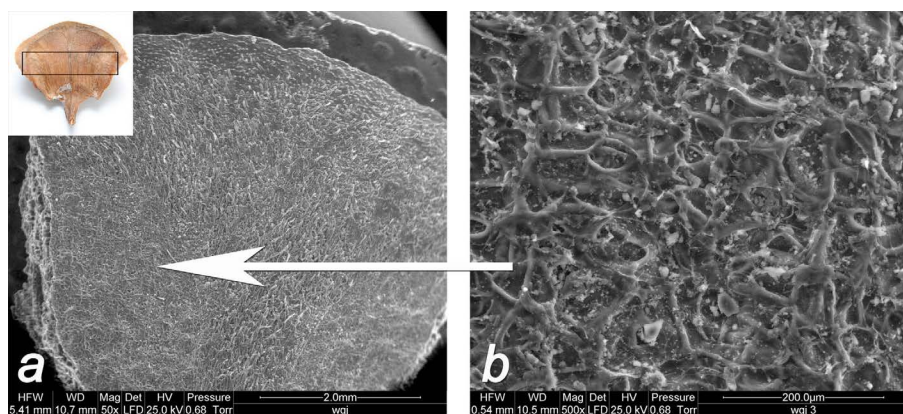
Rycina 3. Górna część łuski z wewnętrznej strony przy powiększeniu (a) 50x oraz (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)

Figure 3. The upper part of the scales from the inside of the (a) 50x and (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)



Rycina 4. Środkowa część łuski z wewnętrznej strony przy powiększeniu (a) 50x oraz (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)

Figure 4. Central portion of the scales from the inside of the (a) 50x and (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)



Rycina 5. Środkowa część łuski z wewnętrznej strony (pod skrzydełkiem) przy powiększeniu (a) 50x oraz (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)

Figure 5. Central portion of the scales from the inside (under the wing) of the (a) 50x and (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)

Analizując przytrzępieniowy (dolny) fragment wewnętrznej strony łuski, nie stwierdzono obecności wypustek, bądź ich liczba była znikoma. Ta część wewnętrznej strony łuski charakteryzuje się gładką i błyszczącą powierzchnią z nielicznymi cząstkami żywicznymi (ryc. 6).

Budowa powierzchni zewnętrznej strony łuski jodły różni się wyraźnie od wewnętrznej. Na rycinie 7 przedstawiono fragment wierzchołka zewnętrznej strony łuski z tarczką. Tarczka ma zazwyczaj nieregularny kształt i stosunkowo gładką powierzchnię, na której zauważalne są cząstki żywiczne. Struktura u spodu badanego fragmentu tarczki różni się od środkowej i górnej jej części brakiem cząstek żywicznych.

Na rycinie 8 przedstawiono środkowy fragment zewnętrznej

strony łuski. W tym miejscu struktura łuski jest chropowata, z długimi, walcowatymi kanałkami ułożonymi łańcuskowato, między którymi znajdują się nieliczne żywiczne cząstki. Opisywana część środka łuski jodły ma podobną strukturę do wewnętrznej strony łuski pod skrzydełkiem (ryc. 5). Jest to też częściowo miejsce styku z powierzchnią łuski okrywającej.

Na rycinie 9 przedstawiono dolny fragment badanej strony łuski, tuż przy trzępieniu szyszki, w którym łuska nasienna styka się z okrywającą. Dolna powierzchnia łuski różni się strukturą od środkowej i wierzchołkowej. W części przytrzępieniowej, podobnie jak na stronie wewnętrznej, występowała mniejsza liczba wypustek lub ich brak, a powierzchnia była chropowata.

Tabela 3. Długość i szerokość wypustek na powierzchni łuski
 Table 3. The length and width of trichome on the surface of the scale

Wypustka Trichome	Długość Length	Szerokość Width
	[mm]	
1	0,0814	0,0363
2	0,0880	0,0299
3	0,0871	0,0300
4	0,0667	0,0187
5	0,0805	0,0287
6	0,0952	0,0485
7	0,0910	0,0364
8	0,0786	0,0317
9	0,0890	0,0361
10	0,0479	0,0196
11	0,0563	0,0317
12	0,0425	0,0308
13	0,0564	0,0202
14	0,0737	0,0295
15	0,0769	0,0410
16	0,0688	0,0325
17	0,0764	0,0285
18	0,1320	0,0422
19	0,1727	0,0442
20	0,1161	0,0278
21	0,1938	0,0440
22	0,1354	0,0454
23	0,1271	0,0235
24	0,0933	0,0324
25	0,0810	0,0292
26	0,1502	0,0357
27	0,1315	0,0466
28	0,2299	0,0569
29	0,1227	0,0418
30	0,1570	0,0335
31	0,0980	0,0278
Średnia Mean	0,1031	0,0342
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,0436	0,0089

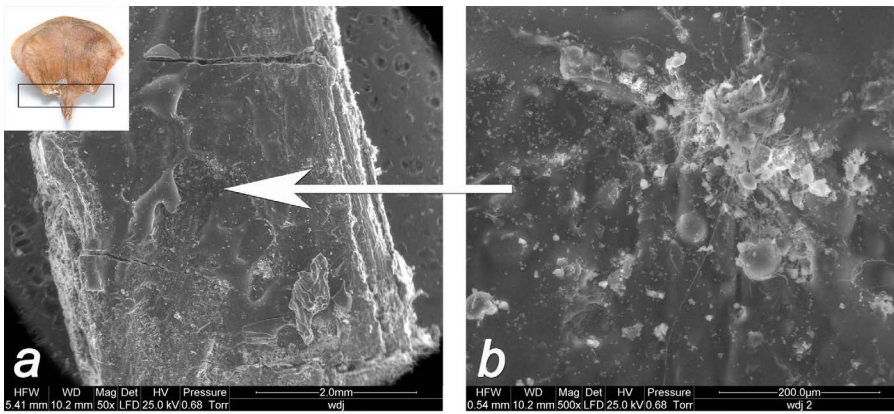
4. Dyskusja

Parametry szyszek sosny zwyczajnej (Tyszkiewicz 1949; Staszkiwicz 1968; Załęski 1995; Aniszewska 2012), świerka pospolitego (Barzdajna 1996; Kulej, Skrzyszewska 1996; Bu-

raczyk 2009) czy modrzewia europejskiego (Bałut 1969; Hall 1985; Antosiewicz 1970; Orlova et al. 2014), takie jak: długość, grubość i masa oraz wielkość łusek, nasion, skrzydełek, są opisywane w literaturze polskiej i zagranicznej. Cechy te u szyszek jodły pospolitej nie są dobrze rozpoznane. Jedną z nielicznych publikacji, omawiających opisywane parametry budowy morfologicznej, jest praca Tracza i Barzdajna (2007), w której autorzy podają długość i średnicę szyszek, długość i szerokość łusek oraz skrzydełek czy długość nasion pochodzących z drzew jodły rosnącej w Sudetach. Przykładowo średnia długość łusek nasiennych szyszek jodły wynosi 21,63 mm, a szerokość w najgrubszym miejscu – 27,03 mm, a według Tracza i Barzdajna (2007) odpowiednio – 27,9 mm i 27,1 mm. Dla porównania u szyszek świerka wymiary łuski ze środkowej części to: długość – 36 mm, a szerokość w najgrubszym miejscu – 22 mm (Mikłaszewicz 2000).

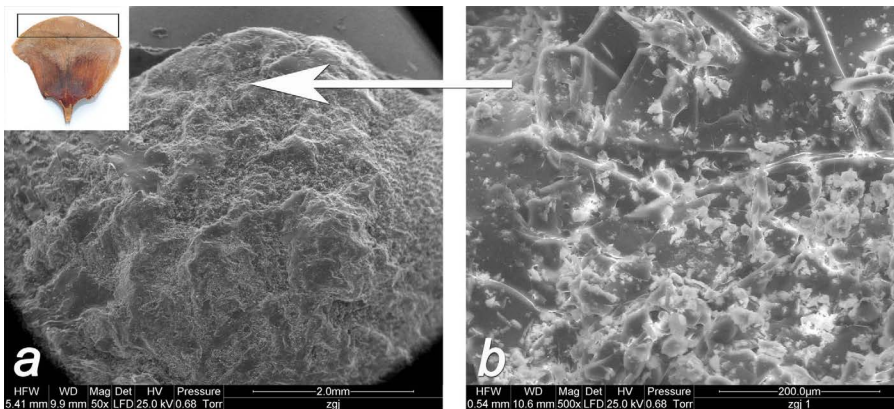
Autorzy niniejszej publikacji mierzyli powierzchnię pojedynczych łusek, pochodzących z dolnej, wierzchołkowej i środkowej części szyszki. Wynosiły one odpowiednio 192, 356 i 453 mm². Dla porównania powierzchnia łuski świerka pospolitego, pobranej ze środkowej części szyszki, według Mikłaszewicz (2000), wynosi 494 mm². Dzięki znajomości powierzchni poszczególnych łusek i ich liczby na szyszce możliwe jest obliczenie powierzchni parowania całej szyszki. Powierzchnia parowania wody z otwartej szyszki jodły, obliczona jako suma powierzchni łusek nasiennych różnej wielkości, jest wartością niemal 90-krotnie większą od powierzchni parowania wody z szyszki zamkniętej, liczonej jako suma powierzchni samych tarczki. Według Mikłaszewicz (2000) wartość ta, dla średniej szyszki świerka, wynosi 93-krotnie więcej, a według Gawart (2000) – dla szyszek sosny zwyczajnej 84-krotnie więcej. Oznacza to, że dla średniej szyszki świerka powierzchnia całkowita będzie około czternaście razy większa po jej otwarciu (Aniszewska 2001), a dla szyszki sosny – sześć razy większa od powierzchni w stanie zamkniętym.

Określenie powierzchni parowania może być jednym z parametrów wykorzystanych do modelowania procesu suszenia szyszek jodły w warunkach gospodarczych. Wprawdzie szyszki jodły pospolitej otwierają się łatwo same, ale można proces ten przyspieszyć, umieszczając szyszki w szafie lub komorze luszczarskiej w odpowiedniej temperaturze i wilgotności, przy czym na podstawie obecnej wiedzy nie można jednoznacznie określić tych parametrów, choć według „Ramowej instrukcji gromadzenia i przechowywania zasobów genowych Leśnego Banku Genów w Kostrzycy (2007) temperatura nie powinna być wyższa niż 20°C. Optymalizacja procesu wyluszczenia, obniżająca nakłady energetyczne, wymaga wskazania najlepszych warunków jego realizacji oraz opracowania odpowiednich algorytmów sterujących tym procesem. Obliczone wartości powierzchni parowania szyszki jodły pospolitej, podobnie jak w przypadku szyszek sosny zwyczajnej czy świerka pospolitego, mogą być danymi wejściowymi do programowania procesu luszczania szyszek tego gatunku. Na podstawie parametrów powietrza suszącego, zmieniającej się temperatury i wilgotności podczas procesu luszczania szyszek sosny czy świerka, opracowane



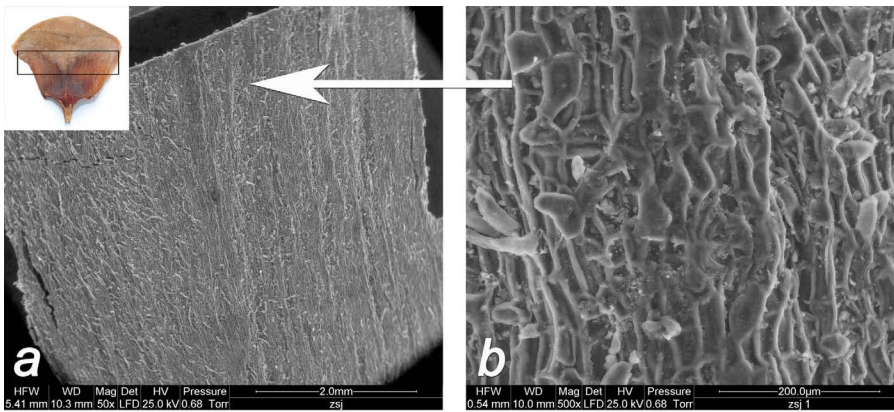
Rycina 6. Dolna części luski z wewnętrznej strony przy powiększeniu (a) 50x oraz (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)

Figure 6. The basal part of the scales from the inside of the (a) 50x and (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)



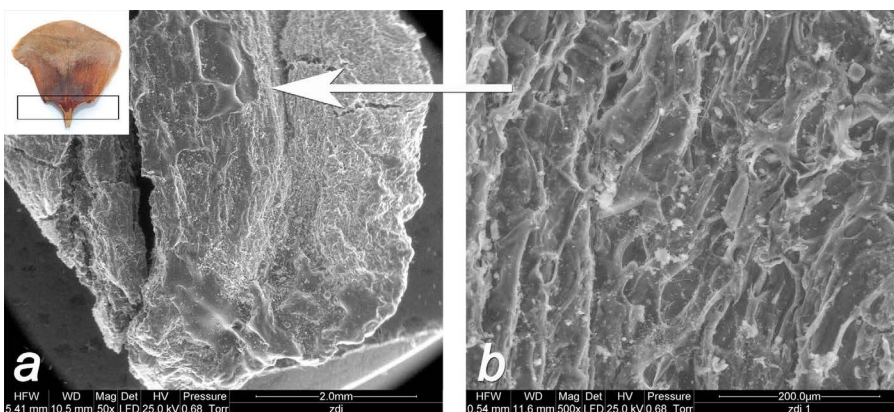
Rycina 7. Górna część zewnętrznej strony luski jodły przy powiększeniu (a) 50x oraz (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)

Figure 7. The upper part of the scales from the outside of the (a) 50x and (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)



Rycina 8. Środkowa część zewnętrznej strony luski jodły przy powiększeniu (a) 50x oraz (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)

Figure 8. The central part of the scales from the outside of the (a) 50x and (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)



Rycina 9. Dolna część zewnętrznej strony luski jodły przy powiększeniu (a) 50x oraz (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)

Figure 9. The basal part of the scales from the outside of the (a) 50x and (b) 500x (Stadnik, Śliwińska 2015)

zostały programy sterujące przebiegiem procesów w szafach luszczarskich, np. w wyluszczeni gospodarczej w Czarnej Białostockiej.

Szyszki jodły suszone w nowoczesnych komorach luszczarskich mogłyby w krótszym czasie ulec rozpadowi na trzpień i łuski, bez uszkodzenia okrywy nasion w wyniku częstego przegarniania i wietrzenia stosowanego w tradycyjnych metodach pozyskania nasion jodły. Z kolei luszczenie szyszek sosny zwyczajnej, świerka pospolitego i modrzewia europejskiego przebiega przy wyższych temperaturach powietrza suszącego do 50÷55°C, a według Tyszkiewicza (1949) nawet do 65°C oraz niskiej wilgotności powietrza, niepowodujących uszkodzenia nasion.

Aby można było zaproponować nowe metody oddzielenia nasion od łusek, należało dokładnie poznać budowę łusek jodły. Wykonane badania za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego pozwoliły wskazać elementy łusek, tj. wypustki i kanaliki, z którymi stykają się nasiona i ich skrzydełka. Kaniewski i Kucewicz (1978), którzy opisali budowę łusek nasiennych i wspierających, uznali, że w procesie utraty wody z szyszek przypuszczalnie znaczącą rolę odgrywają liczne żywe włoski (wypustki), występujące na epidermie łusek nasiennych. Podobne badania powierzchni łuski wykonano dla szyszek sosny zwyczajnej (Aniszewska 2012), w których to szyszkach nie stwierdzono wypustek. Zamiast nich występują eliptyczne pory ułożone w ciągi łańcuszków, przez które przypuszczalnie wnika i wydostaje się nadmiar wody. Kanaliki, podobnie jak wypustki (włoski) na stronie wewnętrznej łuski, podczas wyparowywania wody zmieniają swoje wymiary.

Suszenie konwekcyjne szyszki może pomóc w efektywniejszym oddzieleniu nasienia ze skrzydełkiem od łuski, a równocześnie przeciwdziałać negatywnym skutkom związanym z koniecznością „przegarniania” szyszek w gospodarczej metodzie pozyskania nasion. Ta czynność może powodować obniżanie się jakości nasion w wyniku uszkodzenia pęcherzyków żywicy, znajdujących się na ich powierzchni.

5. Wnioski

1. Powierzchnia parowania wody z przeciętnej, zamkniętej szyszki jodły pospolitej, wyliczona z powierzchni tarczki była zbliżona do wartości pola powierzchni obliczonej za pomocą funkcji wielomianu czwartego stopnia przy wskaźniku zgodności wynoszącym 1,02.

2. Powierzchnia parowania wody z zamkniętej szyszki jodły wynosi 11% powierzchni parowania szyszki otwartej, obliczonej jako suma powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej łusek nasiennych.

3. Budowa wewnętrznej i zewnętrznej części łuski nasiennej jodły pospolitej jest odmienna. Na wewnętrznej stronie zaobserwowano więcej wypustek (włosków), przez które prawdopodobnie wyparowuje znaczna część wody. Na zewnętrznej części występują natomiast długie, wypukłe ściany komórkowe o walcowatym kształcie.

4. Tarczka łuski nasiennej jodły pospolitej jest gładka, ale ma nieregularną powierzchnię, podobnie jak część przytr-

pieniowa. Charakteryzuje się zatem inną budową niż pozostała jej część.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródła finansowania

Badania sfinansowano ze środków własnych Wydziału Inżynierii Produkcji SGGW w Warszawie. Badania przeprowadzono w laboratorium Zakładu Mechanizacji Leśnictwa, korzystając z mikroskopu skaningowego udostępnionego przez Centrum Analityczne SGGW.

Literatura

- Aleszkiewicz M. 1998. Skaningowa mikroskopia optyczna bliskiego pola. *Postępy Fizyki* 49(5): 247–279.
- Aniszewska M. 2001. Zmienność podstawowych parametrów szyszki świerka. *Sylwan* 145(6): 87–93.
- Aniszewska M. 2012. Dynamika procesu pozyskania nasion w jedno- i dwuetapowych procesach luszczania szyszek sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. Rozprawy naukowe i monografie, Wydawnictwo SGGW, 120 s.
- 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-2016-0024.
- Antosiewicz Z. 1970. Nasiennictwo. Poradnik leśnika. SITLiD, PWRiL, Warszawa.
- Bae J.H., Ono T., Esashi M. 2003. Scanning probe with an integrated diamond heater element for nanolithography. *Applied Physics Letters* 82(5): 814–816. DOI 10.1063/1.1541949.
- 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.
- Barbacki A. (red). 2007. Mikroskopia elektronowa. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 116 s.
- Barzdajn W. 1996. Ocena wartości diagnostycznej morfologicznych cech szyszek świerka pospolitego [*Piceaabies* (L.) Karst.] w celu wyróżnienia jego proveniencji. *Sylwan* 140(9): 61–75.
- Buraczyk W. 2009. Morphological changeability of cones of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in the Białowieża Forest. *Folia Forestalia Polonica, series A*: 51(2): 154–160.
- Gawart B. 2000. Zmienność budowy anatomicznej szyszek sosny. Praca magisterska. Wydział Inżynierii Produkcji SGGW, Warszawa.
- Gilewska G. 2010. Przydatność różnych technik obrazowania struktur biologicznych wykorzystujących elektronowy mikroskop skaningowy. *Prace Instytutu Elektrotechniki* 224: 161–169.
- Hall J.P. 1985. Variation in seed quantity and quality in two grafted clones of European larch (*Larix decidua* Mill.). *Silvae Genetica* 34(2-3): 51–56.
- Instrukcja gromadzenia i przechowywania zasobów genowych. 2007. Leśny Bank Genów, Kostrzyca.
- 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.

- Kaniewski K., Ważyńska Z., Kucewicz O. 1972. Badania nad budową anatomiczną i rozwojem łusek pączkowych jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) i modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.). *Rocznik Dendrologiczny* 26: 63–94.
- Kelsall R.W., Hamley I.W., Geoghegan M. 2008. Nanotechnologie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 475 s.
- Klimek B. 2013. Wykorzystanie skaningowego mikroskopu elektronowego do badań malatury z kościoła w Radcze. *Budownictwo i Architektura* 12(4): 95–105.
- Kocoń J. 1986. Występowanie oraz struktura warstwy brodawkowej w cewkach jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) przedstawiona za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego. *Folia Forestalia Polonica, seria B* 17: 5–8.
- Krajewski K. 1992. Głony jako czynnik degradacji drewna 1. Badania mikroskopowe drewna. *Folia Forestalia Polonica, seria B* 23:95–100.
- Kulej M., Skrzyszewska K. 1996. Wstępna ocena zmienności szyszek świerka istebniańskiego na przykładzie wybranych drzewostanów nasiennych Nadleśnictwa Wisła. *Sylwan* 140(5): 105–120.
- Kuźnia M., Rozmus-Górnikowska M., Szajding A., Jerzak W. 2012. Chemical analysis of refractory materials by SEM technique. *Metallurgy and Foundry Engineering* 38(2): 141–149.
- Mikłaszewicz M. 2000. Zmienność budowy anatomicznej szyszek świerka. Praca magisterska Wydział Inżynierii Produkcji SGGW, Warszawa.
- Orlova L.V., Egorov A.A., Potokin A.F., Neshataev V.Y., Ivanov S.A. 2014. Systematics and phylogeny of *Larix* Mill. based on morphological and anatomical analysis. *European Botanic Gardens in a Changing World: Insights into EUROGARD VI*.
- Pashechko M., Dziedzic K., Barszcz M. 2011. Właściwości trybologiczne powłoki eutektycznej Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr. *Inżynieria Powierzchni* 1: 40–45.
- 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.
- Świercz A., Smorzewska E., Bogdanowicz M. 2014. State of Scott pineneedles' epicuticular waxes and content of microelements in bioindication. *Ecological Chemistry and Engineering A*. 21(3): 367–375. DOI 10.2428/ecea.2014.21(3)30.
- Tracz M., Barzdajn W. 2007. The morphological traits of cones and seeds of *Abies alba* in Middle Sudeten. *Dendrobiology* 58: 59–65.
- Tyszkiewicz S. 1949. Nasiennictwo Leśne. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa, 358 s.
- Załęski A. (red.) 1995. Nasiennictwo leśnych drzew i krzewów iglastych. Oficyna Edytorska Wydawnictwo Świat. Warszawa, 179 s.

Wkład autorów

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