

## Zmiany wilgotności i temperatury wewnątrz szyszek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) łuszczonej dwuetapowo

Changes in humidity and temperature inside the pine cones (*Pinus sylvestris* L.)  
in two stages seed extraction

**Monika Aniszewska**

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

Tel. +48 22 59 345 11; e-mail: monika\_aniszewska@sggw.pl

**Abstract.** Temperature measurements were taken: (1) under opening scales, (2) at the seed, and (3) in the stem, of pine cones. Changes in temperature were only examined during the second stage of a two-stage seed extraction process. During this phase a permanent dehydration temperature of 50°C was used, following comparison over a range of temperatures, between a lower limit of 35°C and a higher limited of 50°C. The temperature was slowest to increase in the cone's stem, and fastest to increase under opening scales. The temperature at the seed remained constant at around 43°C for the first hour of dehydration, before increasing to 50°C. The two-stages method of cone extraction employed here, with a permanent dehydration temperature of 50°C in second stage, can be used in extraction cabinets equipped with seed extractors that allow the continuous control of air humidity. The time spent soaking during the inter-stage break should last 5 minutes. Viability of seeds obtained in two-stages process was 78% to 89%.

**Key words:** seed extraction, scale, pine cone, thermocouple

### 1. Wstęp

W warunkach naturalnych nasiona sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) dojrzewają jesienią w drugim roku po zapyleniu, a szyszki otwierają się na drzewach dopiero wiosną następnego roku i nasiona wysypują się w ciągu dwóch, trzech tygodni, w zależności od panujących warunków atmosferycznych. Najdogodniejszym terminem gospodarczego zbioru szyszek jest okres późnojesienny, po pierwszych przymrozkach. Wtedy nasiona w szyszkach są już dojrzałe, a łuski, zdrewniałe w wyniku oddziaływania promieniowania słonecznego, łatwo odchylają się i uwalniają nasiona. W Polsce wyłuszczenie szyszek na potrzeby gospodarki leśnej odbywa się w jednej z szesnastu wyłuszcarni, które posiadają odpowiednią infrastrukturę techniczną do realizacji tego zabiegu. W wyłuszcarniach korzysta się

z reguły z w pełni zautomatyzowanych technologii, stosując gotowe procedury dla wybranych gatunków. Jednak dla niektórych pochodzeń sosny zastosowanie tych urządzeń prowadzi do mało efektywnego łuszczenia szyszek, tzn. wymagającego długiego czasu suszenia, a jednocześnie powodującego otwarcie małej liczby łusek, a tym samym pozyskanie mniejszej liczby nasion.

Prekursorem polskiego wyłuszcarnictwa był Tyszkiewicz (1938), który zainspirowany badaniami Haacka (za Tyszkiewiczem 1938) wykazał zależność między temperaturą a wilgotnością powietrza wewnątrz komory łuszczenia. Ustalił warunki prawidłowego łuszczenia szyszek, aby pozyskiwane nasiona nie straciły żywotności. Zalecane przez Tyszkiewicza parametry suszenia są nadal aktualne i stosowane w polskich wyłuszcarniach. Ich wadą jest jednak stosunkowo długi czas łuszczenia (ok. 48 h).

Łuszczenie szyszek w celu pozyskania nasion jest procesem energochłonnym. Jedną z metod ograniczenia nakładów energetycznych może być wprowadzenie lepszych metod sterowania tym procesem, co będzie możliwe, gdy poznamy dynamikę procesu łuszczenia, której wyznacznikiem są zmiany temperatury i wilgotności powietrza wewnątrz komory oraz zmiany temperatury suszonego materiału i zawartości w nim wody.

Próby skrócenia czasu łuszczenia szyszek podejmował już Antosiewicz (1978), poprzez podwyższenie temperatury suszenia z zachowaniem odpowiedniej wilgotności materiału suszonego. Podwyższenie do 70°C temperatury łuszczenia szyszek świerka o wilgotności 12% nie wpływało ujemnie na jakość pozyskanych nasion. Proces wyłuszczenia w wyższej temperaturze (65°C) dla sosny kalifornijskiej (*Pinus radiata*) prowadzili Farooqui i in. (2000). Według ich badań pozyskane z szyszek nasiona charakteryzowały się również dobrą jakością. Mimo to obecnie w wyłuszczeniach nie stosuje się tak wysokiej temperatury łuszczenia. Wysoka temperatura może przyspieszyć starzenie się nasion. W stosowanych obecnie szafach łuszcarskich temperatura w końcowej fazie procesu nie przekracza 50°C. Obserwacje własne wskazują, że w niektórych wyłuszczeniach wynosi ona nawet ok. 45°C, co obniża ryzyko uszkodzenia nasion, ale istotnie wydłuża czas łuszczenia szyszek. Nie wiadomo jednak, jak dłuższa ekspozycja na podwyższoną temperaturę wpływa na żywotność nasion, szczególnie tych przeznaczonych do długoterminowego przechowywania.

Stosowany w wyłuszczeniach jednoetapowy, ciągły proces łuszczenia nie zawsze jest odpowiedni dla wszystkich partii szyszek sosny zwyczajnej. Stopniowe podwyższanie temperatury w szafie łuszcarskiej w zależności od wilgotności powietrza nie jest wystarczającym bodźcem do pełnego otwierania się szyszek i pozyskania z nich nasion. Niektóre szyszki, szczególnie te pozyskane w początkowym okresie zbioru, są „oporne” i nie chcą się otwierać. Dla takich szyszek można zastosować proces wieloetapowy (dwu-, trzyetapowy), który pozwoli na pozyskanie większej liczby nasion. Ten proces polega na przerwaniu łuszczenia w jego trakcie, zroszeniu lub zmoczeniu szyszek wodą i ponownym suszeniu, jak przy pozyskaniu modrzewia europejskiego, lub sosny *Pinus roxburghii* (Dinesh Kumar Srivastava et al. 2006). Taki zabieg powoduje ruch łusek, który jest zbliżony do naturalnego procesu otwierania się szyszek na drzewach.

W literaturze krajowej i zagranicznej nie znaleziono informacji dotyczących opisu zmian temperatury zachodzących w szyszkach w trakcie procesu suszenia, a dostępne opracowania dotyczyły pomiaru tego parametru wewnątrz drewna oraz produktów rolnych podczas suszenia konwekcyjnego (Kubiak, Laurow 1994; Jaros

1999). Poznanie przebiegu zmian temperatury przy łuszczeniu szyszek ma znaczenie praktyczne. W procesie wieloetapowym, po zraszaniu, a następnie ponownym włożeniu szyszek do szafy łuszcarskiej może dojść do zmniejszenia żywotności nasion, na przykład w wyniku ich zaparzenia, szczególnie wtedy, gdy nasiona znajdują się jeszcze w zamkniętej i wilgotnej szyszce. Nie dojdzie do tego, gdy zastosujemy stopniowe zwiększanie temperatury powietrza wewnątrz komory, ale takie działanie wydłuża proces suszenia.

W pracy przedstawiono zmiany temperatury w szyszce (pomiędzy otwierającymi się łuskami, w pobliżu nasienia oraz w trzpieniu) po jej moczeniu, gdy temperatura w komorze łuszcarskiej wynosiła 50°C. Zwiększenie temperatury suszenia w drugim etapie wpływa na szybkość tego procesu, jednak potrzebna jest wiedza, jaka jest temperatura w poszczególnych częściach szyszki, a szczególnie przy nasieniu. Pozwoli to ocenić zagrożenia wynikające z zastosowania równie wysokiej temperatury w pierwszej fazie suszenia. Dodatkowo można by ustalić, po jakim czasie poszczególne elementy szyszki osiągają temperaturę zbliżoną do temperatury panującej wewnątrz suszarki.

## 2. Materiał i metody

Do badań wykorzystano szyszki pochodzące z Nadleśnictwa Barycz (RDLP Radom), przywiezione z wyłuszczeni gospodarczej w Grotnikach w 2011 r. Świeże szyszki przechowywano w laboratorium w chłodni.

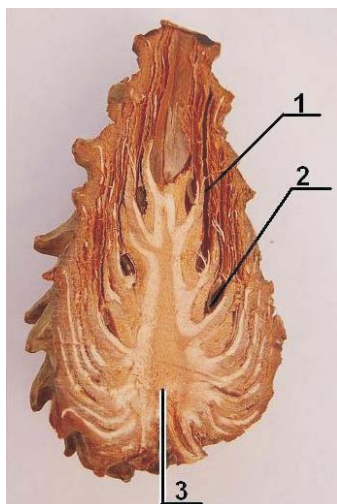
Losowo wybrane szyszki poddano procesowi łuszczenia w suszarce Heraus UT 6120. W czasie badań w pomieszczeniu i w suszarce rejestrowano temperaturę i wilgotność względną powietrza, korzystając z wilgotnościomierza Hydro-Palm 3.

Bezpośrednio przed łuszczeniem szyszki oznaczono, a następnie pomierzono suwmiarką ich długość i grubość z dokładnością do 0,1 mm oraz zważono z dokładnością do 0,01 g. Dokonano też klasyfikacji szyszek według Pravdina (1964) na szyszki o kształcie krępy (2,0 < h/d < 2,5), jajowatym (1,5 < h/d < 2,0) oraz długim (2,5 < h/d < 3,0).

Szyszki podzielono na pięć partii, po 35 szyszek w każdej, i umieszczono kolejno w suszarce laboratoryjnej.

Cztery partie suszono dwuetapowo, a jedną, w celu porównania, jednoetapowo. W pierwszym etapie procesu dwuetapowego suszono szyszki przez 5 i 7 godzin. Co godzinę, dokonywano pomiaru masy każdej szyszki i wytrząsano nasiona. Po zakończeniu pierwszego etapu łuszczenia, szyszki moczone w wodzie o temperaturze 30°C (±2°C) przez 5 i 15 minut. Szyszki wyjęte z wody, osuszono z jej nadmiaru i pozostawiono na jednego-

dzinną przerwę. Następnie w wybranych szyszkach umieszczono termopary typu K (NiCh-NiAl), a szyszki ponownie włożono do suszarki, poddając je dalszemu procesowi suszenia. Termopary umocowano: pod otwierającą się łuską, przy nasieniu w części środkowej szyszki i w trzpieniu szyszki u jej podstawy (ryc. 1). Termopary w trzpieniach poszczególnych szyszek umieszczone były w wywierconych otworach przy pomocy wiertarki z wiertłami o średnicy 1,0 mm. Temperaturę rejestrowano automatycznie, co 1 minutę przy użyciu wielokanałowego rejestratora temperatury WRT-9.



**Rycina 1. Widok przeciętej szyszki z umieszczonymi wewnątrz niej termoparami: 1 – pod otwierającą się łuską, 2 – w pobliżu nasienia w części środkowej szyszki, oraz 3 – w trzpieniu szyszki**

Figure 1. View on cut cone with placed within thermocouples : 1 – under opening scales, 2 – at the seed in the middle part of cone, and 3 – in cone's stem

W drugim etapie łuszczenia szyszki przetrzymywano w suszarce przez 6 godzin, a pomiar temperatury wewnątrz szyszek wykonywano przez około 4 godziny. W tym czasie odchyleniu uległa większość łusek.

W czasie suszenia temperatura wewnątrz suszarki w pierwszym etapie wynosiła 35°C – przez pierwsze dwie godziny, a następnie – przez kolejne trzy lub pięć godzin (w zależności od wariantu) – 50°C. W drugim etapie temperaturę suszenia zaprogramowano na 50°C (Aniszewska, Petrenko 2012). W celu porównania wyników wykonano badanie, w którym temperaturę powietrza suszącego w drugim etapie ustalono początkowo na 35°C, a po dwóch godzinach podwyższono do 50°C. Tym razem pomiar temperatury wewnątrz szyszek wykonywano przez prawie 5 godzin (290 min).

Ostatecznie wykonano badania pomiaru temperatury wewnątrz szyszek w następujących wariantach procesu

dwuetapowego, ze stałą i zmienną temperaturą (dla wybranych) w drugim etapie: 5.5.1.6, 5.15.1.6, 7.5.1.6, 7.15.1.6, przy czym pierwsza liczba określa czas trwania pierwszego etapu w godzinach, druga – czas moczenia w minutach, trzecia – czas przerwy przed drugim etapem w godzinach, czwarta – czas trwania drugiego etapu w godzinach. Czas pomiaru temperatury był krótszy od czasu suszenia w drugim etapie.

Nasiona pozyskane z szyszek zostały ręcznie odskrzydlone i oczyszczone, a następnie wyłożone na kiełkowniku Jakobsena, dla każdego wariantu cztery razy po 100 nasion. W celu oceny ich żywotności określono energię kiełkowania po siedmiu dniach, a zdolność kiełkowania po dwudziestu jeden dniach (Załęski, Anisko 2003).

Po wyłuszczeniu szyszek, suszono je w temperaturze 105°C (±2) do stanu suchej masy, w celu obliczenia wilgotności w poszczególnych fazach procesu.

Do analiz statystycznych wybrano najczęściej stosowane miary: średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe oraz test t, Kruskala-Wallisa i F. Obliczenia i testy statystyczne wykonano przy użyciu programu Statistica (StatSoft Inc. 2009).

### 3. Wyniki

#### 3.1. Charakterystyka wybranych cech szyszek

Badane szyszki miały długość od 31,5 do 53,33 mm, grubość od 14,8 do 22,8 mm i masę początkową od 3,44 do 10,82 g (tab.1), co było zgodne z wartościami podanymi przez Staszkiwicza (1993) dla sosny zwyczajnej.

Szyszki łuszczone dwuetapowo z partii 5.5.1.6, 5.15.1.6, 7.5.1.6 nie różniły się istotnie, zatem można je było potraktować jako jedną partię. Wyliczona podwójna średnia (średnia ze średnich) dla tych trzech partii wynosiła: dla długości – 41,35 mm, grubości – 18,90 mm, i masy – 5,83 g. Szyszki z partii 7.15.1.6 oraz szyszki łuszczone jednoetapowo były krótsze o ok. 2 mm i cieńsze o ok. 1 mm. Szyszki łuszczone w procesie jednoetapowym, podobnie jak partia 7.15.1.6, były jednorodnie pod względem długości, grubości oraz masy i różniły się istotnie od pozostałych trzech.

Według klasyfikacji Pravdina (1964) w badanym zbiorze najwięcej było szyszek o kształcie krępyim – 86,5%, następnie jajowatym 11,2% i najmniej długim – 2,3%. Z własnych obserwacji wielkościowych szyszek z obszaru Polski wynika, że szyszek krępych jest najwięcej.

Wśród szyszek z Nadleśnictwa Barycz przeważała forma plano charakteryzująca się wyrostkami mniejszymi niż połowa szerokości tarczki. Poza tym w badanym zbiorze wyróżniono jeszcze szyszki formy

**Tabela 1. Podstawowe parametry luszczonych szyszek**

Table 1. Basic parameters of extracted cones

Proces Process	Wariant* Variant*	Charakterystyka Characteristics	Długość Length	Grubość Thickness	Masa / Mass		
					na początku pierwszego etapu at the beginning of 1st stage	na początku drugiego etapu at the beginning of 2nd stage	sucha dry
					mm		g
Dwuetaповy Two-stage	5.5.1.6	średnia / average	<b>41,41</b>	<b>19,2</b>	<b>5,94</b>	<b>6,77</b>	<b>4,62</b>
		odch. stand / std dev.	3,25	1,35	1,25	1,30	0,91
		min	36,4	16,0	4,13	4,95	3,13
		max	49,3	22,8	10,82	11,52	7,97
	5.15.1.6	średnia / average	<b>41,6</b>	<b>19,00</b>	<b>5,92</b>	<b>6,92</b>	<b>4,66</b>
		odch. stand / std dev.	3,17	1,60	1,00	1,04	0,75
		min	33,5	15,7	3,80	4,67	3,11
		max	48,7	22,4	8,82	8,61	6,47
	7.5.1.6	średnia / average	<b>41,05</b>	<b>18,64</b>	<b>5,64</b>	<b>6,07</b>	<b>4,35</b>
		odch. stand / std dev.	2,79	1,29	0,99	0,947	0,71
		min	33,4	15,5	3,44	3,62	2,66
		max	45,6	21,5	8,15	8,06	5,86
7.15.1.6.	średnia / average	<b>39,2</b>	<b>18,00</b>	<b>5,07</b>	<b>5,92</b>	<b>4,02</b>	
	odch. stand / std dev.	3,89	1,57	1,09	1,27	0,85	
	min	33,5	15,5	3,81	4,01	2,99	
	max	48,9	21,0	8,17	9,15	6,47	
Jedno- etapowy One-stage	-	średnia / average	<b>39,28</b>	<b>17,85</b>	<b>5,10</b>	-	<b>3,98</b>
		odch. stand / std dev.	3,83	1,41	1,21	-	0,95
		min	31,5	14,8	3,56	-	2,80
		max	53,3	21,4	9,93	-	7,66

\* pierwsza liczba określa czas trwania pierwszego etapu w godzinach, druga – czas moczenia w minutach, trzecia – czas przerwy przed drugim etapem w godzinach, czwarta – czas trwania drugiego etapu w godzinach  
first number defines time of first stage lasting in hours, second – time of soaking in minutes, third – time of break before second stage, fourth – time of second stage lasting in hours

plano-gibba (około 7,6%), ale brak było pozostałych form wymienianych w literaturze (gibba oraz refleksa).

### 3.2. Warunki przebiegu procesu

Temperatura zarejestrowana na suchym termometrze wewnątrz suszarki laboratoryjnej przez pierwsze dwie godziny pierwszego etapu stopniowo wzrastała od temperatury otoczenia 22,5°C do maksymalnie 35°C i wynosiła średnio 33,6°C, a przez kolejne godziny – trzy lub pięć, w zależności od wariantu – wynosiła średnio 49,6°C. Wilgotność powietrza obniżyła się z 54,2 do 13,5% przy temperaturze około 35°C i osiągnęła wartość średnio 11,9% przy temperaturze 50°C. W drugim etapie, przy stałej temperaturze 50°C, wilgotność powietrza wynosiła około 9,5%.

### 3.3. Zmiana masy i wilgotności szyszek

Znajomość masy szyszek pozwoliła na określenie wilgotności szyszek luszczonych jedno- i dwuetapowo, w charakterystycznych momentach tego procesu, tj. na początku –  $W_{o1}$  ( $W_{o2}$ ) i na końcu  $W_{k1}$  ( $W_{k2}$ ) pierwszego i drugiego etapu (tab. 2).

Średnia początkowa wilgotność szyszek w pierwszym etapie dla wszystkich pięciu partii wynosiła od 26,1 do 29,7%, przy czym najniższa była w przypadku partii 7.15.1.6, a najwyższa w przypadku partii 7.5.1.6.

Początkowa wilgotność szyszek w drugim etapie  $W_{o2}$  zależała od czasu ich moczenia i była niższa w przypadku szyszek przetrzymywanych w wodzie krócej. Po zastosowaniu moczenia szyszek przez 5 minut ich wilgotność wzrosła średnio o 18,5% w przypadku szyszek suszonych w pierwszym etapie przez 5 godzin, a o 10,0% w przypadku szyszek suszonych 7 godzin. Gdy szyszki moczone 15 minut, ich wilgotność wzrosła o

**Tabela 2. Średnia wilgotność szyszek w jedno- i dwuetapowym procesie łuszczenia**

Table 2. Average humidity of cones in one- and two-stage process of extraction

Proces Process	Wariant* Variant*	Charakterystyka Characteristics	Wilgotność szyszek / Humidity of cones, %			
			w pierwszym etapie in first stage		w drugim etapie in second stage	
			początkowa initial $W_{o1}$	końcowa final $W_{k1}$	początkowa initial $W_{o2}$	końcowa final $W_{k2}$
Dwuetapowy Two-stage	5.5.1.6	średnia / average	28,2	14,8	46,7	10,4
		odch. stand / std dev	5,1	4,3	8,8	4,0
		min	20,9	8,3	22,4	3,4
		max	40,4	26,2	65,5	20,3
	5.15.1.6	średnia / average	27,0	14,4	48,9	11,9
		odch. stand / std dev	3,6	3,8	7,2	3,4
		min	20,4	8,9	29,9	6,0
		max	36,3	24,9	60,9	18,8
	7.5.1.6	średnia / average	29,7	12,0	39,9	7,6
		odch. stand / std dev	4,9	3,7	6,9	1,6
		min	22,6	7,8	20,6	6,0
		max	43,7	24,6	51,7	13,6
7.15.1.6.	średnia / average	26,1	11,1	47,2	7,8	
	odch. stand / std dev	2,8	2,9	8,1	1,6	
	min	22,5	7,6	23,4	6,1	
	max	33,7	20,1	64,6	12,6	
Jedno- etapowy One-stage	-	średnia / average	28,2	8,1	-	-
		odch. stand / std dev	2,4	1,1	-	-
		min	23,6	5,7	-	-
		max	32,7	10,8	-	-

\* warianty jak w tab. 1 / variants – as in Table 1

taką samą wartość – średnio o 21,5%, niezależnie od czasu suszenia w pierwszym etapie.

Wilgotność końcowa szyszek po pierwszym etapie łuszczenia ( $W_{k1}$ ) zależała od czasu i wynosiła średnio 14,6% dla partii suszonych przez 5 godzin, a 11,5% – dla partii suszonych 7 godzin. Z kolei wilgotność końcowa po drugim etapie ( $W_{k2}$ ) wynosiła odpowiednio – 11,1 i 7,7%. Zatem przy takim samym czasie trwania drugiego etapu wilgotność szyszek obniżyła się o 3,5 oraz 3,8%.

W pierwszym etapie wilgotność szyszek łuszczonych 5 i 7 godzin zmniejszyła się o 13% i 16%, a w drugim etapie, po moczeniu 5 min – o 36% i 32%, a po moczeniu 15 min – odpowiednio o 37 i 39%.

W całkowitym czasie trwania procesu suszenia (11 i 13 godzin) oraz moczenia, średnio szyszki obniżyły wilgotność o 17,8% (wariant 5.5.1.6) i 15,1% (wariant 5.15.1.6) oraz o 22,1 (wariant 7.5.1.6) i 18,3% (wariant 7.15.1.6).

W procesie jednoetapowym, po 13 godzinach suszenia, wilgotność zmniejszyła się średnio z 28,2 do 8,1%, czyli o 20,1%.

Na ubytek masy szyszek wpłynęło także pozyskanie nasion. W procesie jednoetapowym nasiona uwalniane

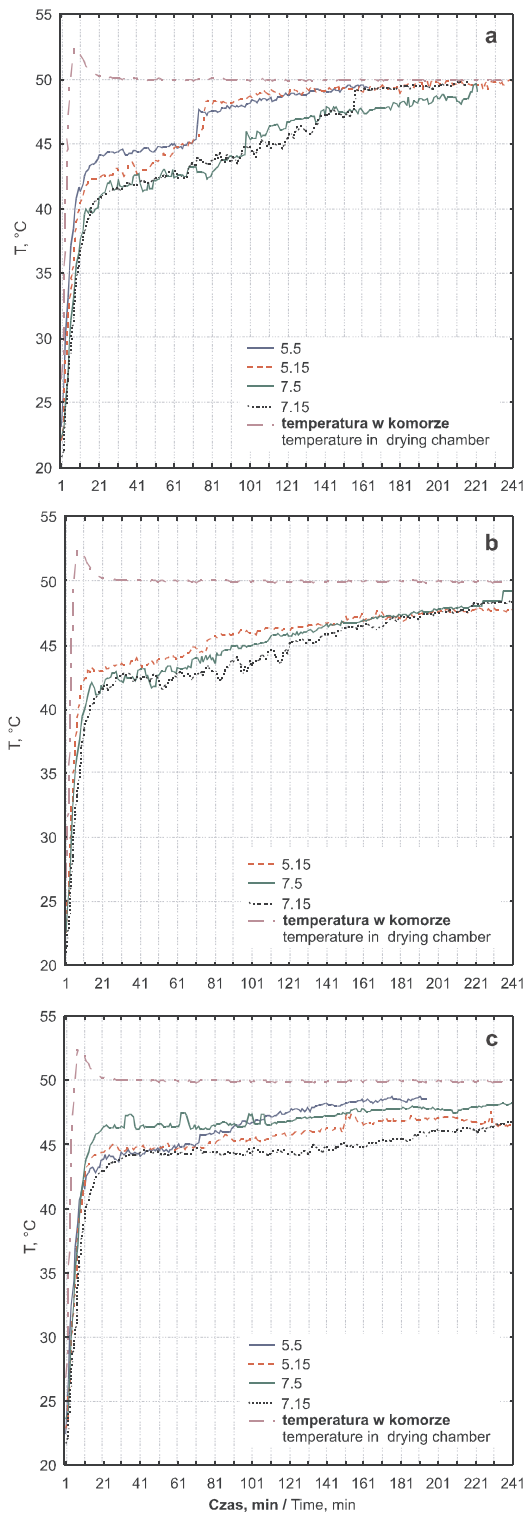
były z szyszek stopniowo i po 13 godzinach pozyskano ich 94%. W procesie dwuetapowym po 5 godzinach pozyskano około 37% nasion, a po 7 godzinach 58% nasion. Po zakończeniu procesu dwuetapowego pozyskano średnio 97,5% nasion, przy czym najwięcej w wariantcie 7.5.1.6. – 98,4%.

### 3.4. Zmiana temperatury w łuszczonym materiale

W czasie badania zaobserwowano wzrost temperatury w szyszkach od 21°C do ok. 50°C. Na rycinie 2a przedstawiono zmiany temperatury mierzonej przez termopary umieszczone pod otwierającą się łuską, na rycinie 2b – zmiany temperatury mierzonej przy nasieniu, a na rycinie 2c – w trzpieniu od dołu (podstawy szyszki).

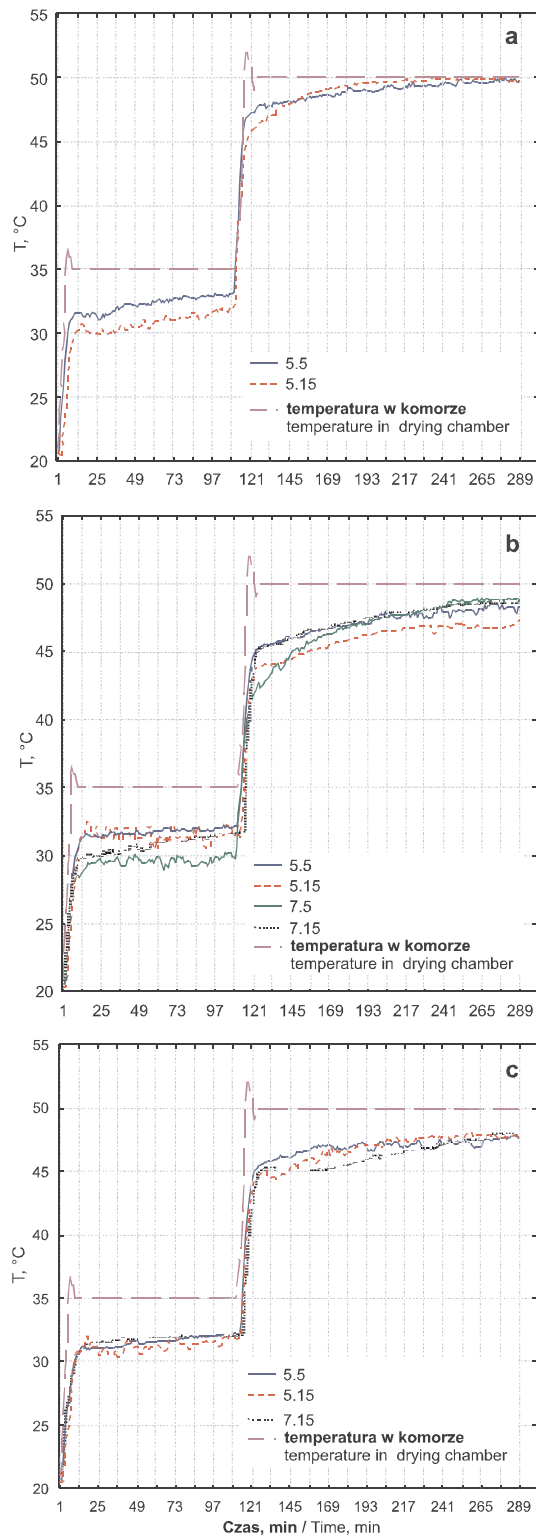
Na każdym wykresie pokazano krzywą obrazującą zmianę temperatury suchego termometru rejestrowaną w suszarce podczas procesu. Można zauważyć, że temperatura wewnątrz suszarki ustabilizowała się na poziomie 50°C już po około 7 minutach od jej włączenia i utrzymywała się na tym poziomie do końca procesu łuszczenia.

W pierwszych minutach procesu temperatura w szyszkach szybko wzrastała do około 45°C. Następnie,



Rycina 2. Przebieg zmiany temperatury w drugim etapie dwuetapowego procesu luszczenia szyszek: pod otwierającą się łuską (a), przy nasieniu (b) oraz w trzpieniu szyszki (c)

Figure 2. Course of temperature change in second phase of two-stage process of cones extraction: under opening scale (a), at the seed (b), and in cones stem (c)



Rycina 3. Zmiana temperatury w czasie drugiego etapu luszczenia: pod otwierającą się łuską (a), przy nasieniu (b), oraz w trzpieniu (c)

Figure 3. Change of temperature during second stage of extraction: under opening scale (a) at the seed (b), and in stem (c)

przez około 80 minut, stabilizowała się, po czym ponownie wzrastała do temperatury bliskiej panującej wewnątrz suszarki. Temperatura pod otwierającą się łuską (ryc. 2a) najszybciej osiągnęła poziom otoczenia (50°C). Spowodowane to było odchyleniem się łuski od trzpienia i dotarciem do wnętrza ogrzanego powietrza. Na wykresie da się zauważyć charakterystyczną pionową linię obrazującą skok temperatury w chwili ruchu łuski. W przypadku szyszek łuszczonych 5 godzin w pierwszym etapie skok temperatury nastąpił w 70 minucie, a łuszczonych 7 godzin – w 95 i 155 minucie trwania drugiego etapu.

Najwolniej wzrastała temperatura w trzpieniu szyszki (ryc. 2c). Po około czterech godzinach procesu nie doszło do zrównania się temperatury szyszek z temperaturą otoczenia. Dodatkowe badania wykazały, że dopiero po około 7–8 godzinach suszenia temperatura wewnątrz trzpienia zrównała się z temperaturą otoczenia.

Analizując zmiany temperatury dla różnych czasów suszenia w pierwszym etapie i moczenia przed drugim stwierdzono, że w trzpieniu szyszek moczonych przez 15 minut temperatura była niższa niż u tych moczonych przez 5 minut (ryc. 2c). Z kolei temperatura przy nasieniu (ryc. 2b) nie wzrastała tak gwałtownie, jak pod otwierającą się łuską. W każdym z wariantów przez pierwszą godzinę suszenia temperatura wynosiła 42°C, a po tym czasie stopniowo wzrastała do 48°C.

Przeprowadzona analiza wzrostu temperatury przy zmiennych warunkach temperaturowo-wilgotnościowych wykazała, że zarówno w pierwszej, jak i w drugiej fazie suszenia temperatura wewnątrz materiału nie dochodziła do temperatury panującej wewnątrz suszarki. Wyjątek stanowiła partia szyszek, w której umieszczono termopary pod otwierającą się łuską (ryc. 3).

Przez pierwsze dwie godziny procesu, kiedy temperatura powietrza wynosiła 35°C, temperatura mierzona pod otwierającą się łuską była niższa o 2–5°C, przy

nasieniu o 3–7°C, a w trzpieniu o 4–5°C. Przebieg temperatury mierzonej w trzpieniu nie różnił się istotnie w poszczególnych wariantach.

W drugiej fazie, gdy wewnątrz suszarki temperatura dochodziła do 50°C, temperatura mierzona przez termopary też była niższa. Jednak w kolejnych godzinach suszenia zauważalny był jej stopniowy wzrost. Średnio w ciągu czterech godzin suszenia temperatura pod otwierającą się łuską wzrosła o 3°C, przy nasieniu o 4°C, a w trzpieniu o ok. 2°C.

Porównanie przebiegu zmiany temperatury szyszek o różnym czasie moczenia wskazuje, że temperatura przy nasieniu była niższa po dłuższym moczeniu szyszek (15 min). Temperatura w tym miejscu różniła się w zależności od czasu trwania pierwszego etapu. Takie szyszki na początku drugiego etapu miały także wyższą wilgotność.

Z partii wybrano 6 szyszek różniących się początkową wilgotnością. Ich podstawowe parametry przedstawiono w tabeli 3, a zmiany w trakcie suszenia na rycinie 4.

Szyszki o wyższej początkowej wilgotności wysychały intensywniej, co można było zaobserwować zarówno w pierwszym, jak i w drugim etapie łuszczenia. Z kolei temperatura tych szyszek mierzona przy nasieniu nie różniła się istotnie od temperatury szyszek o niższej wilgotności. Po dwóch godzinach suszenia szyszek w temperaturze 35°C, ich wilgotność obniżyła się z 39 do 30% i z 21 do 16%. W tym czasie temperatura przy nasieniu wynosiła ok. 32°C. W trzeciej godzinie łuszczenia, kiedy temperatura powietrza suszącego została podwyższona do 50°C, temperatura przy nasieniu osiągnęła wartość 46°C, a w piątej godzinie – 48°C. Wilgotność szyszki w trzeciej godzinie trwania procesu wynosiła 28 i 14%, z kolei w piątej odpowiednio 23 i 12%.

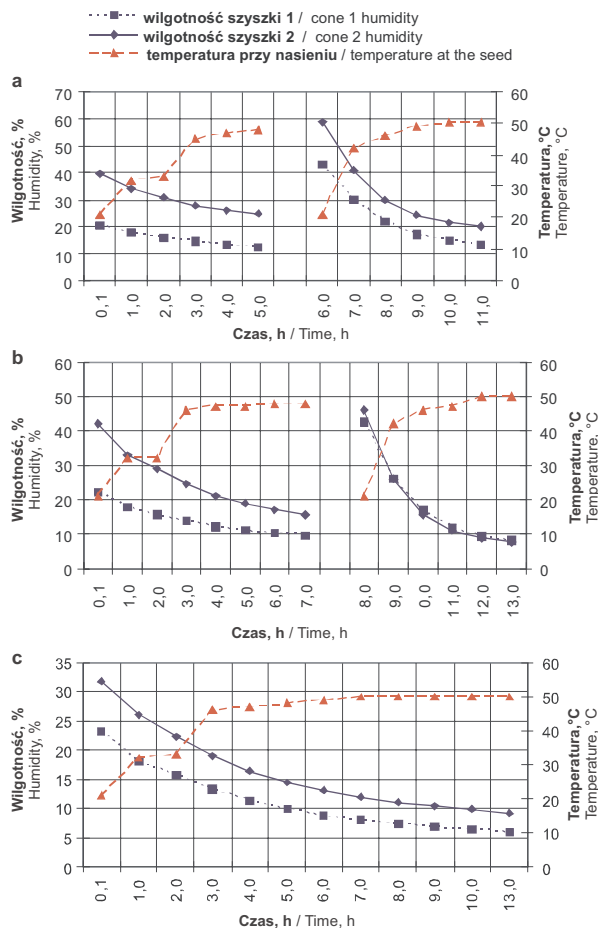
Po moczeniu szyszek przez 5 minut wzrosła w nich zawartość wody. W drugim etapie łuszczenia szyszek suszonych przez 5 godzin w pierwszym etapie, kiedy po

**Tabela 3. Podstawowe parametry badanych szyszek**

Table 3. Basic parameters of examined cones

Proces Process	Wariant* Variant*	Nr No	Długość Length	Grubość Thickness	Pierwszy etap First stage		Drugi etap Second stage		Masa sucha Dry mass
					masa początkowa initial mass	wilgotność humidity	masa początkowa initial mass	wilgotność humidity	
					g	%	g	%	
Dwu-etapowy Two-stage	5.5.1.6	1	38,5	19,2	5,96	21	7,15	43	4,93
		2	41,2	20,0	6,36	39	7,32	59	4,53
	7.5.1.6	1	41,8	18,2	5,48	23	6,48	45	4,47
		2	42,4	19,6	5,64	43	5,89	49	3,94
Jednoetapowy One-stage		1	39,8	18,0	5,12	24	-	-	4,14
		2	37,4	17,2	4,66	32	-	-	3,52

\* warianty jak w tab. 1 / variants – as in Table 1



Rycina 4. Zmiana temperatury mierzonej przy nasieniu w szyszkach o różnej początkowej wilgotności luszczonych dwuetapowo z pierwszym etapem trwającym 5 godzin (a) lub 7 godzin (b) oraz luszczonych jednoetapowo (c)

Figure 4. Changes of temperature measured at the seed in cones of various initial humidity in two-stages extraction with the first phase lasting 5 hours (a) or 7 hours (b) and 1-stage extraction (c)

1 godzinie nie obniżono temperatury powietrza, wilgotność dwóch badanych szyszek z początkowej 59% i 43%, obniżyła się do 40 i 30%. W tym czasie temperatura mierzona przy nasieniu wzrosła od 21 do 41°C. Po dwóch godzinach najintensywniejszych zmian nastąpił wzrost temperatury do 46°C oraz obniżenie wilgotności obydwu szyszek o ok. 10%.

Na zakończenie procesu temperatura przy nasieniu zrównała się z temperaturą panującą w suszarce, a wilgotność szyszek wynosiła odpowiednio 20 i 12%. Szyszka 2 (ryc. 4a) nie uległa całkowitemu otwarciu, a jej wilgotność końcowa była wysoka.

Wilgotność końcowa szyszek po pierwszym etapie suszenia wydłużonym do 7 godzin obniżyła się ostatecznie do 17 i 10% (ryc. 4b). W drugim etapie, po pięciominutowym moczeniu wilgotność szyszek wzrosła do około 49 i 45%. Po godzinie suszenia szyszki osiągnęły wilgotność około 26%, a temperatura przy nasieniu 41°C. Na zakończenie suszenia wilgotność szyszek obniżyła się do 9%, a temperatura zarejestrowana przy nasieniu osiągnęła 50°C.

W jednoetapowym suszeniu szyszek, w siódmej godzinie trwania procesu doszło do zrównania się temperatury mierzonej przy nasieniu, w środkowej części szyszki, z temperaturą wewnątrz suszarki (ryc. 4c).

### 3.5. Ocena pozyskanych nasion

Na podstawie energii i zdolności kiełkowania nasion luszczonych dwuetapowo w trzech wariantach – 5.5.1.6, 7.5.1.6, 7.15.1.6, i jednoetapowo zaliczono je do II klasy żywotności, z kolei nasiona pozyskane z szyszek luszczonych 5 godzin w pierwszym etapie i moczonych przez 15 minut (wariant 5.15.1.6) zaliczono do III klasy żywotności.

Tabela 4. Średnia liczba kiełkujących nasion w poszczególnych wariantach doświadczenia

Table 4. Average number of germination seeds in different variants of experiment

Proces Process	Wariant Variant	Energia kiełkowania, % Germination energy, %	Zdolność kiełkowania,% Germination capacity,%		Klasa żywotności Vitality class
			po 14 dniach after 14 days	po 21 dniach after 21 days	
			Dwuetapowy Two-stage	5.5.1.6	
	5.15.1.6	69	77	78	III
	7.5.1.6	75	86	86	II
	7.15.1.6	76	81	82	II
Jednoetapowy One-stage	-	76	82	82	II

\* warianty jak w tab. 1 / Variants – as in Table 1



#### 4. Dyskusja

Badania procesu dwuetapowego, prowadzonego w czterech wariantach (5.5.1.6, 5.15.1.6, 7.5.1.6, i 7.15.1.6), w porównaniu z jednoetapowym, wykazały istotne różnice w zmianie ubytku masy i wilgotności w czasie, wynikające z zastosowania nawilżania przed drugim etapem. Nawilżanie, składające się z pięcio- lub piętnastominutowego moczenia i jednogodzinnej przerwy, spowodowało istotny wzrost masy i wilgotności szyszek na początku drugiego etapu. Skutkowało to przymknięciem lub całkowitym zamknięciem łusek na szyszce otwartych po pierwszym etapie suszenia. Na łuskach tych zazwyczaj brak było już nasion.

W drugim etapie jako pierwsze otworzyły się łuski, które były zamknięte jeszcze w pierwszym etapie, i to z nich pozyskano kolejne nasiona. Zauważono, że w drugim etapie szybciej dochodziło do otwarcia się łusek niż w pierwszym. W tym samym czasie efektywnego łuszczenia (bez czasu moczenia i przerwy) w procesie dwuetapowym nastąpiło uwolnienie większej liczby nasion niż w procesie jednoetapowym.

Analiza zmian wilgotności szyszek w czasie w czterech wariantach procesu dwuetapowego pozwoliła stwierdzić, że w przypadku badanych szyszek najlepszy był wariant 7.5.1.6. Choć początkowo szyszki z tej partii miały średnio najwyższą wilgotność 29,7%, to na początku i na końcu drugiego etapu osiągnęły wilgotność najniższą, odpowiednio 39,9 oraz 7,6%. Ubytek wilgoci w tym etapie wyniósł średnio 32,3%.

W pierwszym etapie, po pięciu godzinach łuszczenia, w zadanych warunkach wilgotność szyszek obniżyła się średnio o ok. 13%, z kolei po siedmiu godzinach o ok. 15%. Szyszki o wyższej wilgotności końcowej w pierwszym etapie poddane moczeniu przez 5 minut nasiąkły wodą bardziej niż szyszki o niższej wilgotności. Moczenie przez 15 minut, zarówno szyszek o niższej, jak i wyższej wilgotności na końcu pierwszego etapu, spowodowało wyrównanie ich wilgotności.

Kolejne sześć godzin łuszczenia w drugim etapie, przy stałej temperaturze 50°C powietrza w komorze, spowodowało zmniejszenie ich wilgotności, o wartość wody wchłoniętej przez szyszki w czasie nasiąkania oraz dla krótszego czasu moczenia (5 min) o kolejne – 4,4%, a dłuższego (15 min) o średnio 3%, względem średniej wilgotności na końcu pierwszego etapu.

Przy wilgotności powietrza w pomieszczeniu ok. 55%, powietrze w suszarce miało wilgotność ponad 10% w chwili, gdy jego temperatura osiągnęła 50°C. Takie warunki pozwalają na pozyskanie nasion sosny zwyczajnej o wilgotności ok. 4,3%, przy czym krytyczny poziom wilgotności nasion tego gatunku, poniżej którego nie należy ich przesuszać, został ustalony na 3,5% (Załęski i in. 2009).

Z przeprowadzonej oceny wynika, że nasiona pozyskane w procesie dwuetapowym osiągnęły zdolność kiełkowania od 78 do 89%, co pozwala zaliczyć je do trzeciej klasy żywotności (wariant 5.15.1.6) lub drugiej (nasiona z pozostałych trzech wariantów). Nasiona pozyskane w procesie jednoetapowym zaliczono do drugiej klasy żywotności (82%). Powodem gorszej zdolności kiełkowania nasion pozyskanych w procesie dwuetapowym (trzecia klasa żywotności, poza wariantem 5.15.1.6) może być nie tyle proces łuszczenia dwuetapowo i zastosowane moczenie, ale nieodpowiednie przechowywanie szyszek przed łuszczeniem lub wyluszczonych nasion albo czynniki atmosferyczne, które mogły wpłynąć niekorzystnie na rozwój nasion w szyszkach (podczas ich zawiązywania czy dojrzewania), albo też warunki klimatyczne czy siedliskowe, w których rosły drzewa, o czym świadczą badania wykonane przez Anisko i in. (2006).

Zarejestrowane zmiany temperatury szyszki w czasie łuszczenia w wyróżnionych wariantach badań procesu jedno- i dwuetapowego pozwoliły stwierdzić, że przy suszeniu szyszek, które moczone, powinno się dla bezpieczeństwa zastosować najpierw temperaturę suszenia niższą, a później – w drugim etapie, wyższą, bo może wystąpić ryzyko uszkodzenia nasion. Dotyczy to głównie szyszek, które silnie nasiąkają wodą. Zastosowanie w drugim etapie stałej temperatury suszenia na poziomie 50°C, jest możliwe, ale wymaga utrzymania niskiej, ok. 10%, wilgotności wewnątrz komory suszenia. W nowoczesnych szafach łuszcarskich poziom wilgotności nie spada poniżej 20% (Aniszewska, Jaworski 2009). Spowodowane jest to dużą liczbą wilgotnych szyszek, z których w czasie suszenia odparowuje woda, powodując wzrost wilgotności powietrza wewnątrz suszarki. Osiągnięcie wilgotności 10% można uzyskać poprzez intensywną wymianę powietrza w szafie, co przy obecnym rozwoju technicznym nie jest problemem. Proponowana stała temperatura suszenia (50°C) w drugim etapie powoduje wzrost intensywności suszenia szyszek i w przypadku niektórych wariantów skraca czas efektywnego suszenia w porównaniu z procesem jednoetapowym.

Przeprowadzone badania pozwoliły wykazać, że najwolniej wzrasta temperatura w trzpieniu szyszki, a najszybciej pod otwierającą się łuską. W momencie otwarcia się łuski szyszki, pod którą umieszczona została termopara, wyraźnie zauważalny jest wzrost temperatury. Wzrost temperatury przy nasieniu przebiega wolniej, niż pod otwierającą się łuską. Początkowo, przez pierwszą godzinę, temperatura utrzymuje się na stałym poziomie, później rośnie do 50°C.

Pomiar temperatury wewnątrz szyszek w czasie suszenia pozwolił jedynie na przedstawienie zmian temperatury wewnątrz trzpienia szyszki. Z kolei pomiar tem-

peratury przy nasieniu i pod otwierającą się łuską wymaga uzupełnienia o pomiar wilgotności. Przynajmniej wilgotność przy nasieniu jest inna niż wilgotność rejestrowana w suszarce podczas procesu. Dopiero te parametry pozwolą na wyciągnięcie ostatecznych wniosków, czy po moczeniu można łuszczyć szyszki w stałej temperaturze 50°C.

## 5. Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały istotną różnicę w przebiegu procesu jedno- i dwuetapowego łuszczenia szyszek sosny zwyczajnej, na co istotny wpływ miało moczenie szyszek przed drugim etapem w procesie dwuetapowym, powodujące wzrost ich wilgotności.

2. Porównanie czterech wariantów procesu łuszczenia ze stałą temperaturą 50°C podczas drugiego etapu wykazało, że najefektywniejszym dla badanych szyszek jest wariant 7.5.1.6, a najmniej efektywnym – wariant 5.15.1.6. Zbyt krótki czas trwania pierwszego etapu (5 godzin) spowodował, że łuski szyszek nie uległy wystarczającemu odchyleniu, przez to wydobyto mniej nasion. Zbyt długi czas moczenia (15 min) szyszek, nieotwartych w pierwszym etapie suszenia, przyczynił się do istotnego zwiększenia ich masy, a przez to i wilgotności. Szyszki nasiąknięte wodą potrzebowały więcej czasu na odparowanie z nich wody, niż moczone krócej, aby pozyskać z nich kolejne nasiona w drugim etapie. Zatem czas moczenia powinien wynosić ok. 5 min.

3. Stała temperatura suszenia (50°C) podczas trwania drugiego etapu, szczególnie po dłuższym moczeniu szyszek, może być powodem obniżenia jakości nasion, o czym świadczy intensywny wzrost temperatury przy nasieniu podczas suszenia oraz niższa energia i zdolność kiełkowania nasion. Dotyczy to zwłaszcza szyszek o wyższej wilgotności na początku drugiego etapu.

4. Zastosowanie dwuetapowego procesu łuszczenia, ze stałą temperaturą w drugim etapie, jest możliwe pod warunkiem utrzymywania niskiej wilgotności w komorze łuszczenia (ok. 10%), poprzez intensywną wymianę powietrza.

## Podziękowania

Badania zostały sfinansowane ze środków własnych Wydziału Inżynierii Produkcji SGGW.

## Literatura

- Aniszewska M., Jaworski S. 2009. Analiza dwuetapowego łuszczenia ze zraszaniem wodą szyszek sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. *Leśne Prace Badawcze*, 70 (4): 329–338;
- Aniszewska M., Petrenko Y. 2012. Evaluation of quantity and quality of common pine seeds (*Pinus sylvestris* L.) obtained in two-stage seed extraction process under laboratory conditions. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture*, 60: 129–136.
- Aniśko E., Witowska O., Załęski A. 2006. Wpływ warunków suszenia nasion brzozy brodawkowatej, olszy czarnej, sosny zwyczajnej i świerka pospolitego na ich żywotność. *Leśne Prace Badawcze*, 67(2): 91–113.
- Antosiewicz Z. 1978. Doskonalenie procesów technicznych wyluszczenia nasion sosny i świerka. *Sprawozdanie nauk., Instytut Badawczy Leśnictwa*, Warszawa: 1–24.
- Dinesh Kumar Srivastava, S. K. Negi, S. S. Pradeep Kumar. 2006. Development of technique for rapid extraction of seeds from cones of *Pinus roxburghii* Sarg. under controlled conditions. *Indian Forester*, 132, 2: 197–204.
- Farooqui, U. M. Dixit, R. K. Patra, A. K. Rayal, S. P. Khan, A. Tiwari, S. K. 2000. Effectiveness of different seed extraction methods on seed value from the cones of *Pinus radiata*. *Indian Forester*, 126, 9: 936–942.
- Jaros M. 1999. Kinetyka suszenia warzyw. *Rozprawy Naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie*, 224: 1–71. ISSN 0860-4355.
- Kubiak M., Laurow Z., 1994. Surowiec drzewny. Warszawa, Fundacja Rozwój SGGW, s. 493. ISBN 83-86241-33-0.
- Pravdin L. F. 1964. Sosna obyknovennaja Izmencivost', vnutrividovaja sistematika i selekcija. Moskwa, Izd. „Nauka“.
- Staszkiwicz J. 1993. Zmienność morfologiczna szpilek, szyszek i nasion. w: *Biologia sosny zwyczajnej* (red. S. Białobok, A. Boratyński, W. Bugała). Poznań, Sorus, ISBN 83-85599-21-5.
- StatSoft Inc. 2009. STATISTICA (data analysis software system), version 9.0. www.statsoft.com.
- Tyszkiewicz S. 1938. Wyluszczenie nasion sosny. *Rozprawy i sprawozdania*, nr 35. Warszawa, Instytut Badawczy Lasów Państwowych: 1–95.
- Załęski A., Aniśko E. 2003. Suszenie nasion wybranych gatunków drzew. *Notatnik Naukowy Instytutu Badawczego Leśnictwa*, 1(55): 1–4.
- Załęski A., Aniśko E., Kantorowicz W. 2009. Zawartość wody w podsuszanych nasionach drzew leśnych a wilgotność względna suszącego powietrza. *Leśne Prace Badawcze*, 70 (2): 151–160.