

Monika Aniszewska , Sebastian Jaworski¹

Analiza dwuetapowego łuszczenia ze zraszaniem wodą szyszek sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L.

Analysis of two-stage extraction of *Pinus sylvestris* L. seeds

Abstract. The paper describes the extraction process of *Pinus sylvestris* seeds from cones collected from two regions (Jarocin and Oleśnica Śląska Forest Districts). Extraction was carried out in the modern, production-scale extraction plant in Jarocin. The described process differs from the other extraction processes in that the seeds are first sprayed with water for ten minutes and then soaked for twenty minutes. The two treatments are carried out in the course of the extraction process, after the water content in cones is reduced, so two phases (Phase I and Phase II) can be distinguished. Cone spraying increased the number of open scales ($k=0.34$) and the number of extracted seeds (which was confirmed for cones from the Jarocin Forest District) was compared with the continuous process, causing reduction of seed extraction time to 17 hours. The mean moisture content of open cones and extracted seeds was 7.1% (Jarocin Forest District) and 6.1% (Oleśnica Śląska Forest District). The extraction of pine seeds described by mathematical equations for the changes in water content and drying rate differed from the analogous process of drying seeds of other tree species.

Key words: Scots pine seeds, seed extraction, cone drying.

1. Wstęp

Na terenie Polski prace związane z pozyskaniem nasion z szyszek sosny, świerka i modrzewia wykonuje się w 16 wyłuszczeniach gospodarczych PGL LP (stan na 31.12.07)², które swoim zasięgiem obejmują wszystkie nadleśnictwa. Są wśród nich zmodernizowane zakłady stare, które powstały w XIX wieku, oraz nowoczesne, wykorzystujące szwedzką technologię. Do tych ostatnich można zaliczyć wyłuszczenie w Jarocinie i Czarnej Białostockiej.

Wyłuszczenia w Jarocinie powstała w 1993 roku i wykonuje usługi dla 37 nadleśnictw z trzech regionalnych dyrekcji LP: w Poznaniu, Wrocławiu i Pile. Poza głównym zadaniem – łuszczeniem szyszek i odskrzydleniem, oczyszczaniem, separacją i suszeniem wydobytých nasion, prowadzone są też prace nad termoterapią żołądki, skaryfikacją lipy czy stratyfikacją bukwi.

Dodatkowo na terenie placówki nasiennej znajdują się magazyny szyszek, przechowalnia nasion i stacja kontroli nasion, w której badana jest jakość nasion. Obiekt składa się z ośmiu pomieszczeń. Schemat z opisem poszczególnych części wyłuszczeni przedstawiono na rycinie 1.

Szyszki dostarczane są do wyłuszczeni w depozyt przez nadleśnictwa lub prywatnych właścicieli. W pierwszym pomieszczeniu są one rozładowywane i umieszczane w urządzeniu do wstępnego ich oczyszczania. Pod obracający się bęben (stanowiący jeden z elementów urządzenia) wysypują się zanieczyszczenia drobne, np. igły czy gałązki, a pomiędzy prętami poziomego przenośnika rolkowego – małe szyszki. Szyszki zepsute, silnie zażywiczone i zeszlenczone – już pozbawione nasion są wybierane ręcznie. Oczyszczone szyszki zasypany są do skrzyń i przewożone do pomieszczenia drugiego – magazynu szyszek. Może on pomieścić około 180 ton szyszek w 700 pojemnikach ustawionych

¹ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych, ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa, * Fax +48 22 5934514, e-mail: monika_aniszewska@sggw.pl

² Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe 2008: Informacja o PGL LP 2007.s



Rycina 1. Schemat wyłuszczeni w Jarocinie: 1 – hala przyjęć i wstępnego oczyszczania, szyszek, 2 – magazyn szyszek, 3 – hala produkcyjna, 4 – magazyn nasion, 5 – kielkownia, 6 – mała chłodnia, 7 – pomieszczenia socjalne, 8 – maszynownia

Figure 1. Plan of the seed extraction plant in Jarocin: 1 – reception room and pre precleaning room, 2 – cone store, 3 – production room, 4 – seed store, 5 – germination room, 6 – small cold store, 7 – social premise, 8 – machinery room

w kolumnach po 10 sztuk. Dzięki tak dużemu magazynowi, w którym utrzymywana jest określona temperatura i wilgotność powietrza, okres kampanii łuszcarskiej może być przedłużony, bez szkody dla pozyskiwanych nasion i niezależnie od zewnętrznych warunków pogodowych.

Najczęściej w magazynie temperatura powietrza nie przekracza 6°C, a wilgotność wynosi około 80%. Takie warunki pozwalają na przechowywanie szyszek przez cały rok. Z magazynu szyszki są przenoszone na halę wyłuszcarską – produkcyjną (pomieszczenie nr 3). Odbywa się tam proces łuszczenia szyszek, wytrząsania oraz oczyszczania nasion.

Łuszczenie szyszek wykonywane jest w trzykomorowej szafie łuszcarskiej sterowanej komputerowo. W jednej komorze mieści się po siedem pojemników, czyli ok. 700 kg szyszek. W czasie łuszczenia temperatura wewnątrz komory dochodzi do 47°C, a wilgotność do 24%. Takie warunki gwarantują pozyskanie nasion wysokiej jakości. Z kolei czas procesu, który głównie zależy od stopnia otwarcia szyszek dla sosny zwyczajnej, trwa około 24 godzin. Ciepłe powietrze tłoczone jest do komór od góry i przepływa przez pionowo ustawione pojemniki. Ochłodzone wilgocią pozyskaną z szyszek trafia do regeneratora i stamtąd, po wytrąceniu pary wodnej i kolejnym ogrzaniu, ponownie dostarczane jest do komór. Dzięki temu procesowi następuje otwarcie łusek szyszek, które w kolejnym etapie trafiają do bębna wyłuszcarskiego, gdzie poddawane są procesowi wytrząsania. Podczas wytrząsania szyszek nasiona wypadają z bębna pomiędzy równoległymi prętami i opadają na taśmociąg. Z kolei puste szyszki usuwane są na zewnątrz budynku.

Pozyskane nasiona zasypywane są do odskrzydłacza wodnego, w którym następuje oddzielenie skrzydełek od nasion. Wykorzystywane jest tam zjawisko pęcznienia w środowisku wodnym. Polega ono na zmianie naprężeń powierzchniowych nasienia i skrzydełka w wodzie o temperaturze 30°C. Różnice w odkształceniu powodują ich rozdzielenie. Czas operacji waha się od 5 do 10 minut (Załęski et Matras 1998). Po oddzieleniu skrzydełek nasiona są podsuszane w czterech komorach suszących i oczyszczane w sortowniku grawitacyjnym. Zadaniem tego ostatniego jest segregacja na nasiona pełne oraz zanieczyszczenia, w tym nasiona puste, skrzydełka itp. Po przeprowadzonej selekcji, nasiona poddawane są suszeniu właściwemu w trzech oddzielnych suszarkach, gdzie podczas około czterech godzin osiągają wilgotność około 5,5%. Tak przygotowane nasiona trafiają do magazynu (pomieszczenie nr 4), w którym są szczegółowo opisywane, spakowane i zabezpieczone w pojemnikach (tekturowe pudełka, kartony, folie lub beczki). Pojemniki przechowywane są na ruchomych regałach w kontrolowanych warunkach w temperaturze od -8 do -10°C (Załęski 2002).

Pozostałe pomieszczenia w wyłuszczeni to: kielkownia, mała chłodnia i maszynownia – bezpośrednio wykorzystywane w produkcji, a także pomieszczenia socjalne.

W badaniach przeprowadzonych w wyłuszczeni w Jarocinie poddano analizie dwufazowy proces łuszczenia ze zraszaniem szyszek sosny zwyczajnej, różniących się pochodzeniem i parametrami. Przewidywano, że taki sposób łuszczenia może mieć wpływ na zwiększenie wydajności pozyskania nasion. Wcześniejsze badania prowadzone były w wyłuszczeniach bez fazy zraszania szyszek. Wykazały one, że czas łuszczenia szyszek jest

długi oraz energochłonny i mimo że trwał on nawet 35 godzin, spora część możliwych do otwarcia łusek nie odchyłała się w stopniu umożliwiającym pozyskanie z nich nasion. Założono, że zraszanie szyszek, po znacznym obniżeniu zawartości w nich wody, przyspieszy proces i zwiększy stopień otwarcia większej ilości łusek, a co za tym idzie – możliwości pozyskania nasion.

Zakres badań obejmował: charakterystykę podstawowych parametrów badanych szyszek, zmiany masy i wilgotności szyszek w czasie trwania procesu, analizę wielkości charakteryzujących proces łuszczenia, wyznaczenie czasu i charakterystycznych parametrów szyszek w stanie otwarcia (masy, wilgotności).

2. Metodyka badań

W wyłuszczeni gospodarczej w Jarocinie poddano łuszczeniu szyszki sosny zwyczajnej pochodzące z Nadleśnictwa Oleśnica Śląska (region 553, RDLP we Wrocławiu) i Nadleśnictwa Jarocin (region 359, RDLP w Poznaniu). Z obu partii wybrano po 35 sztuk szyszek (łącznie 70). Przy selekcji kierowano się długością h i grubością d szyszek.

Przed łuszczeniem pomierzono i zważono szyszki. Pomiar długości wykonano mierząc odcinek od spodu do szczytu szyszki, a grubości – w dwóch prostopadłych kierunkach, obliczając z nich średnią wartość. Na podstawie pomierzonych długości i grubości obliczono objętość i pole powierzchni szyszki zewnętrznej stosując poniższe wzory (Aniszewska 2004):

$$V = \frac{1}{12} \pi \cdot h \cdot d^2 \cdot \lambda_1 \quad [\text{cm}^3] \quad (1)$$

$$A = \pi \cdot \frac{d}{2} \left[\frac{d}{2} + \sqrt{h^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} \right] \cdot \lambda_2 \quad [\text{cm}^2] \quad (2)$$

gdzie $\lambda_1 = 1,61$ i $\lambda_2 = 1,21$.

Obliczona wartość objętości szyszki pozwoliła na określenie jej gęstości ρ jako stosunku masy początkowej m_o do objętości zamkniętej szyszki V według wzoru:

$$\rho = \frac{m_o}{V} \quad [\text{g/cm}^3] \quad (3)$$

Do określenia wymiarów zewnętrznych wykorzystano suwmiarkę o dokładności 0,01 mm, a do określenia masy początkowej m_o i kolejnych (w czasie trwania procesu) użyto wagi laboratoryjnej WPS 600C o dokładności 0,01 g.

Po wstępnych pomiarach, oznaczone szyszki umieszczono w ażurowych workach ze specjalnymi kieszeniami dla każdej z nich. Worki wykonano tak, aby w trakcie procesu szyszki były poddawane działaniu obiegującego powietrza, a jednocześnie pozyskiwane nasio-

na nie wysypywały się z nich i nie mogły przemieszczać się do innych kieszeni. Tak przygotowane worki umieszczono w drugiej i trzeciej w kolejności od dołu skrzyniach, znajdujących się w szafie w wyłuszczeni w Jarocinie wraz z resztą łuszczonych szyszek poddanych procesowi. Procesem sterował komputer, który zarazem nadzorował i rejestrował warunki temperaturowo-wilgotnościowe wewnątrz szafy.

W trakcie pierwszej fazy procesu wyłuszczenia nasion szyszki poddano działaniu powietrza o podwyższonej temperaturze i obniżonej wilgotności. W tej fazie dokonano 5 pomiarów zmiany masy szyszek, ze średnią częstotliwością co 2 godziny. Faza ta zakończyła się po upływie ok. 10 godzin, kiedy nastąpiło znaczne obniżenie wilgotności i ustabilizowanie się temperatury na określonym poziomie (ryc. 2).

W fazie drugiej, na początku szyszki zraszano wodą. Po odcieknięciu jej nadmiaru określono masę szyszek po zroszeniu m_{pz} i ponownie umieszczono je w komorze łuszczarskiej. W tym czasie dokonano kolejnych 5 pomiarów masy szyszek z częstotliwością co 1,5 godziny. Zakończenie procesu nastąpiło po 20 godzinach. Decyzję o zaprzestaniu dalszego łuszczenia podjęto na podstawie obserwacji stanu otwarcia łusek szyszek, kiedy ich odchylenie nie ulegało dalszym zmianom.

Po zakończeniu procesu, w celu określenia stopnia otwarcia szyszek, policzono w każdej szyszce liczbę łusek otwartych oraz zamkniętych. Pozwoliło to na wyznaczenie wskaźnika otwarcia, jako stosunku liczby łusek otwartych znajdujących się na szyszce n_o do liczby wszystkich łusek n_w .

$$k = \frac{n_o}{n_w} \quad (4)$$

Na koniec nasiona oddzielono od szyszek, odskrzydłono i poważono, natomiast puste szyszki, w celu określenia masy suchej m_s , suszono w suszarce laboratoryjnej UT6120 w temperaturze $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$. Wykorzystując pomiary masy m_i w czasie łuszczenia oraz masę suchą m_s dla każdej szyszki wyliczono chwilową zawartość wody (wilgotności) na danym etapie badań.

Z kolei zmianę zawartości wody w szyszkach u_{im} w czasie trwania procesu opisano równaniem:

$$u_{im} = (u_o - u_k) \cdot e^{(-b \cdot t_i)} + u_k \quad [\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}] \quad (5)$$

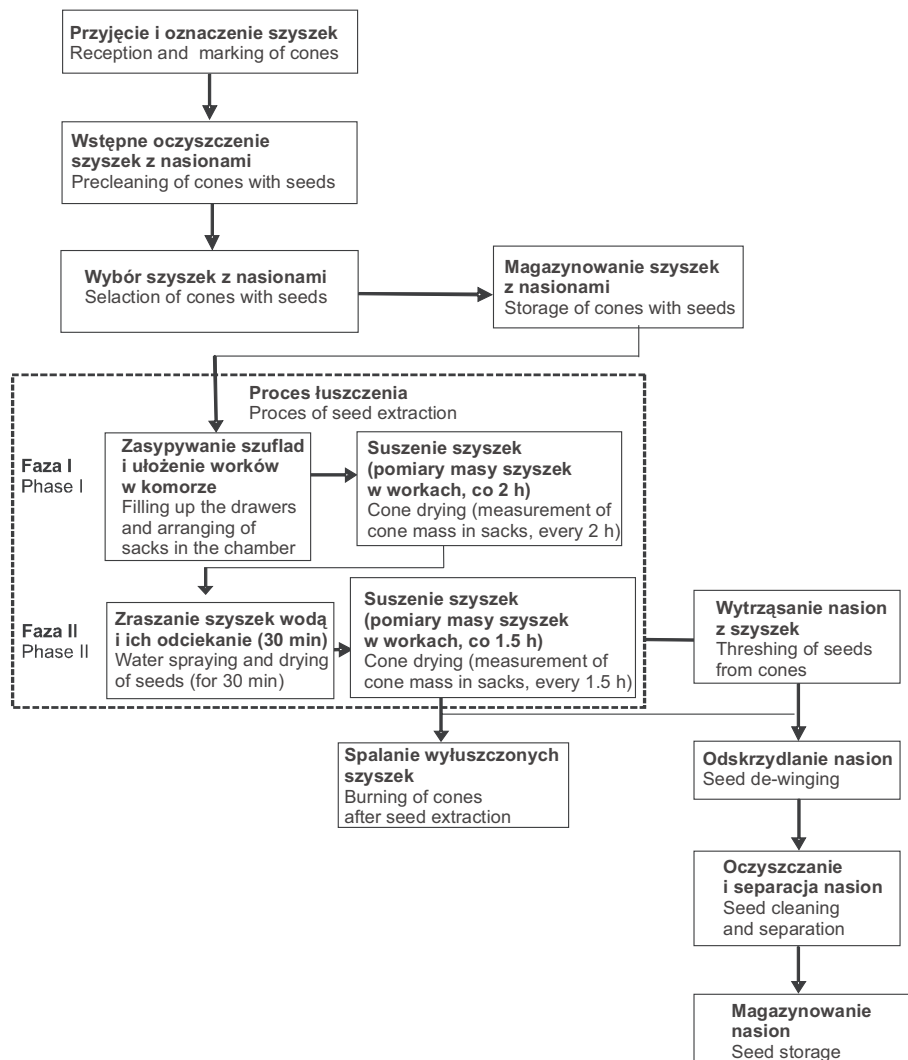
w którym:

e – podstawa logarytmu naturalnego ($e=2,718282$)

u_o – początkowa zawartość wody w szyszce w danej fazie procesu,

u_k – końcowa zawartość wody w szyszce w danej fazie procesu, obliczona ze wzoru:

$$u_k = \frac{m_k - m_s}{m_s} - 0,001 \quad [\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}] \quad (6)$$



Rycina 2. Schemat dwufazowego procesu wyluszczenia nasion sosny zwyczajnej ze zraszaniem

Figure 2. A diagram of a two-phase extraction of Scots pine seeds with the spraying treatment

gdzie:

- m_k – masa końcowa szyszki w danej fazie procesu,
- m_s – masa sucha szyszki,
- b – współczynnik szybkości suszenia, obliczany ze

wzoru:

$$b = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\ln \frac{u_i - u_k}{u_o - u_k}}{\tau_i} \quad [1/h] \quad (7)$$

n – liczba odczytów,

τ_i – czas w danej fazie procesu.

$$\frac{du}{dt} = -b \cdot (u_o - u_k) \cdot e^{(-b \cdot t)} \quad [1/h] \quad (8)$$

Charakterystykę otwarcia łusek u_{ot} ustalono na podstawie zawartości wody w chwili pozyskania ostatniego nasienia z danej szyszki w badanym procesie (Aniszewska 2004).

3. Wyniki

Podstawowe parametry badanych szyszek i ich współzależności

Analiza wartości średnich, minimalnych, maksymalnych i odchylenia standardowego mierzonych oraz obliczanych wielkości (tab. 1) pozwala stwierdzić, że szyszki z Jarocina mają nieznacznie większą masę, są nieco

dłuższe i grubsze od szyszek z Nadleśnictwa Oleśnica Śląska. Dlatego w oparciu o liczebność obu partii, wartości średnie oraz odchylenia standardowe dla długości i grubości, przeprowadzono parametryczny test istotności różnic między średnimi (Bruchwald 1997). Po wyliczeniach stwierdzono, że zbiory nie różnią się istotnie i można traktować je jako jeden.

Wykorzystując dane dotyczące długości i grubości przeprowadzono badanie współzależności tych dwóch podstawowych parametrów określających szyszkę (ryc. 3).

Po przeliczeniu stwierdzono, że wzrost grubości szyszki o 1 mm powoduje przyrost jej długości o ok. 1,9 mm. Według badań Staszkieвича (1968) przyrost ten wynosi 1,7 mm. Zauważono, że szyszki z Nadleśnictwa Jarocin mają objętość większą o ok. 0,6 cm³, pole powierzchni większe o ok. 1 cm² oraz więcej łusek otwartych o 2 sztuki i więcej wszystkich łusek o 3 sztuki (tab. 1). Dowiedziono, że zwiększenie grubości szyszki o 1 mm powoduje wzrost liczby wszystkich łusek o ok. 2 sztuki. Wpływ długości szyszki na liczbę łusek przed-

stawiono na rycinie 4 – zwiększenie długości o 1 mm powoduje zwiększenie liczby łusek o ok. 1 sztukę (0,83), wobec wartości podawanej w literaturze – 0,85 (Staszkievicz 1968).

Na szczególną uwagę zasługuje wskaźnik otwarcia szyszek k , który dla obu nadleśnictw różni się zaledwie o 0,01. Wartość wskaźnika po zastosowaniu zraszania była większa w porównaniu z szyszkami badanymi w wyluszczeni gospodarczej w Czarnej Białostockiej (proces przeprowadzony w zbliżonych warunkach temperaturowo-wilgotnościowych, choć trwający dłużej), gdzie wyniósł on średnio 0,26 (Aniszewska 2007a).

Liczba pozyskanych nasion

W trakcie procesu łuszczenia pozyskiwanie nasion następowało sukcesywnie w miarę otwierania się kolejnych łusek. W czasie pierwszej fazy (w której dokonano 5 pomiarów) pierwsze nasiona wyluszczone pomiędzy pomiarem nr 1 i nr 2, czyli po ok. 4 godzinach. W

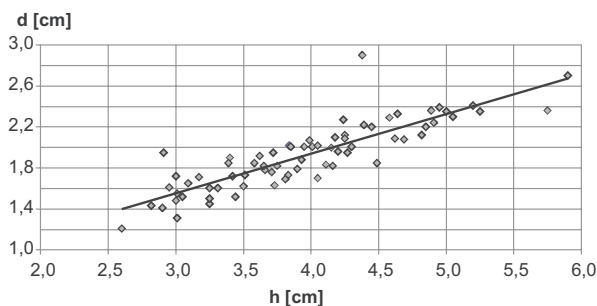
Tabela 1. Wyniki pomiarów i obliczeń parametrów szyszek w procesie wyluszczenia nasion

Table 1. Findings of measurements and calculations of factors during seed extraction

Wyszczególnienie Specification	Nadleśnictwo Forest District	h	d	m_o	V	P_p	r	n_o	n_w	k
		cm	cm	g	cm ³	cm ²	g/cm ³	szt / pcs		
x	Oleśnica Śląska	3,89	1,91	5,95	6,34	18,38	0,983	24 (23,77)	70 (70,37)	0,34
	Jarocin	4,01	1,93	6,74	6,96	19,30	1,005	26 (26,40)	73 (73,40)	0,35
δ	Oleśnica Śląska	0,54	0,30	1,82	2,66	5,06	0,154	5,33	9,11	0,06
	Jarocin	0,88	0,36	3,45	4,00	7,54	0,102	8,61	11,88	0,08
Min	Oleśnica Śląska	2,60	1,21	2,47	1,60	7,53	0,478	14	53	0,24
	Jarocin	2,82	1,31	2,59	2,18	9,30	0,804	5	48	0,07
Max	Oleśnica Śląska	4,85	2,90	9,64	15,52	33,41	1,543	39	89	0,45
	Jarocin	5,90	2,70	16,30	18,12	37,97	1,257	45	95	0,53

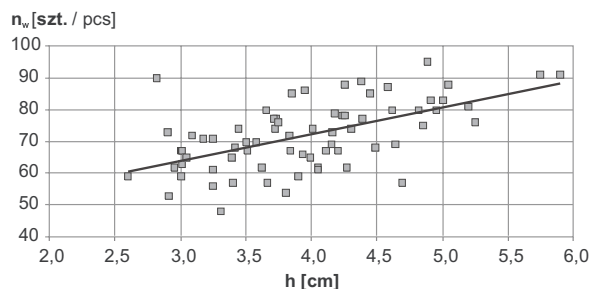
Objaśnienia: \bar{x} – średnia, δ – odchylenie standardowe, h – długość, d – grubość, m_o – masa początkowa, V – objętość, P_p – pole powierzchni, r – gęstość, n_o – liczba łusek otwartych, n_w – liczba wszystkich łusek, k – wskaźnik otwarcia

Designations: \bar{x} – mean, δ – standard deviation, h – length, d – diameter, m_o – initial mass, V – volume, P_p – area of cone, r – density, n_o – number of opened scales, n_w – number of all scales, k – opened indicator



Rycina 3. Zależność grubości d od długości h szyszki dla obu partii ($d = 0,3864, h + 0,3919; R = 0,861 > 0,232$)

Figure 3. Relationship between the diameter (d) and the length (h) of a cone for both lots ($d = 0,3864 h + 0,3919; R = 0,861 > 0,232$)



Rycina 4. Zależność liczby wszystkich łusek n_w od długości h szyszki dla obu partii

Figure 4. Relationship between the number of all scales (n_w) and the length (h) of a cone for both seedlots

trakcie pomiaru nr 3, po 6 godzinach, pozyskano nasiona z 10 szyszek należących do próby z Oleśnicy Śląskiej i z 14 z Jarocina. Następnie między godziną 6 i 10 liczba otwartych szyszek, z których otrzymano nasiona wzrosła do 19 w przypadku Oleśnicy Śląskiej i 21 – dla Jarocina. Podczas fazy drugiej, gdy wilgotność szyszek zwiększono przez zroszenie wodą, nasiona wydobyto jeszcze z 12 szyszek w pierwszej partii i 11 – w drugiej.

Podczas procesu łuszczenia zbioru 70 sztuk, otworzyła się częściowo każda szyszka, choć wskaźnik otwarcia był niewielki – przeciętnie $0,34 \pm 0,35$. Nie ze wszystkich szyszek pozyskano nasiona – 7 szyszek było pustych. Prawdopodobnie były to szyszki zeszłoroczne, pozbawione już nasion, lub takie, które nie wykształciły ich w ogóle.

Łącznie wydobyto – 699 nasion z szyszek z Nadleśnictwa Oleśnica Śląska (55,5% w fazie I i 44,5% w fazie II) oraz 1492 nasiona z szyszek z Nadleśnictwa Jarocin (38,6% w fazie I i 61,4% w fazie II). Większość nasion pozyskano między pomiarem 3 (6,0 godz.) i 8 (17,25 godz.) (ryc. 5). W przypadku szyszek z Oleśnicy Śląskiej było to 87% wszystkich wydobytych nasion, a Jarocina – 91%. Podczas pomiarów 9 i 10 pozyskano z 42% szyszek nasiona jasne, puste, niezdolne do kiełkowania, co potwierdzono zgniatając nasiona. Po dosuszeniu szyszek w 105°C , z niektórych szyszek pozy-

skano jeszcze ok. 3% nasion (od 2 do 4 sztuk). Średnio z jednej szyszki pochodzącej z Nadleśnictwa Oleśnica Śląska pozyskano 20 nasion (od 7 do 42 szt), a 42 (od 4 do 90 szt) – z Nadleśnictwa Jarocin. W analizie tej nie uwzględniono szyszek, z których nie pozyskano w ogóle nasion.

Po zastosowaniu zraszania znacznie wzrosło pozyskanie nasion z szyszek jedynie z Nadleśnictwa Jarocin, w przypadku drugiej próbki tego nie potwierdzono (ryc. 5). Należałoby zatem wykonać więcej prób, aby upewnić się, czy zastosowanie zraszania faktycznie powoduje wzrost ilości pozyskiwanych nasion.

Na podstawie liczby nasion pozyskanych podczas przeprowadzanych prób zbadano jej zależność od długości szyszki (ryc. 6). Jest ona istotna:

szyszki z Jarocina

$$l_n = 19,170 h - 31,016; \quad R = 0,603 > 0,325 \quad (11)$$

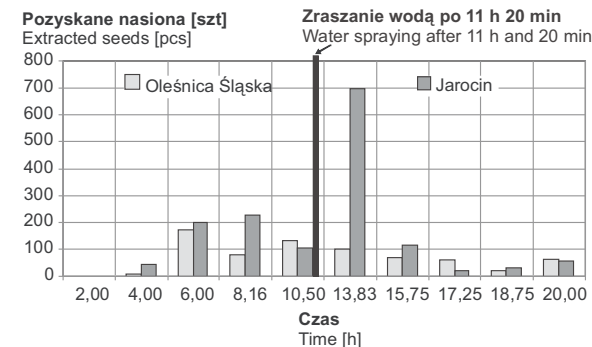
szyszki z Oleśnicy Śląskiej

$$l_n = 8,692 h - 11,092; \quad R = 0,535 > 0,325 \quad (12)$$

Dla Nadleśnictwa Oleśnica Śląska wzrost długości szyszki o 1 mm powoduje zwiększenie liczby pozyskanych nasion o ok. 1 sztukę. W przypadku Nadleśnictwa Jarocin przyrost ten jest blisko 2 razy większy.

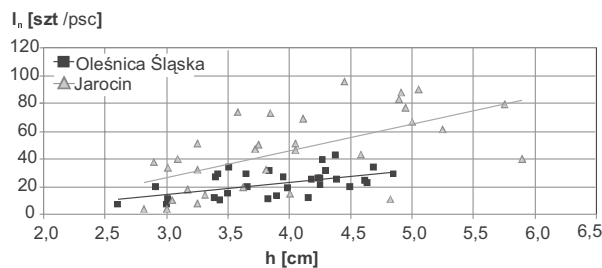
Opis matematyczny procesu

Czas łuszczenia wszystkich szyszek w trakcie dwóch faz wyniósł 20 godzin. Temperatura panująca wewnątrz komory w czasie trwania procesu stopniowo wzrastała przez 6 godzin, a następnie ustabilizowała się: temperatura suchego termometru przy wartości $47,5^{\circ}\text{C}$, a temperatura mokrego termometru – przy $27,9^{\circ}\text{C}$ w pierwszej fazie. W drugiej fazie były one nieznacznie niższe, odpowiednio około $47,0$ i $25,5^{\circ}\text{C}$.



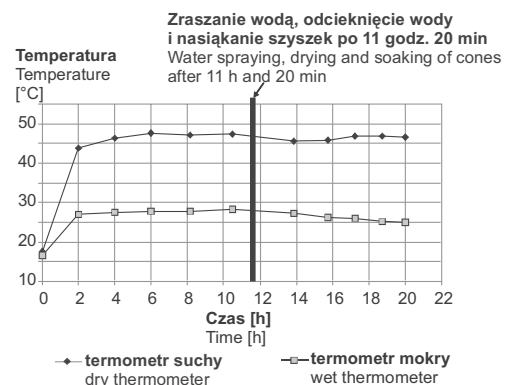
Rycina 5. Liczba nasion pozyskanych z szyszek w czasie trwania procesu

Figure 5. Number of extracted seeds during the cone drying process



Rycina 6. Zależność liczby nasion l_n od długości h szyszki

Figure 6. Relationship between the number of scales (l_n) and the length (h) of a cone



Rycina 7. Przebieg zmian temperatury powietrza suchego i mokrego termometru w czasie trwania procesu łuszczenia

Figure 7. Changes in air temperature of the dry and wet thermometers during the extraction process

Na rycinie 7 zaprezentowano zmiany przebiegu temperatury powietrza mokrego i suchego termometru z zaznaczeniem faz procesu.

Fazę I zakończono po 11 godzinach i 20 minutach. Termin ten był jednocześnie rozpoczęciem fazy II, na początku której zraszano szyszki przez 10 min oraz pozostawiono do obcieknięcia przez 20 min i dopiero po tej przerwie umieszczono je ponownie w komorze luszczarskiej.

Opis matematyczny przebiegu procesu przedstawiają równania zawartości wody u i szybkości suszenia $(du/d\tau)$ szyszek w czasie. Są one następujące:

$$\text{Faza I: } u_{lm} = (u_o - u_5) \cdot e^{(-b_1 \cdot \tau)} + u_5, \quad (13)$$

$$\left(\frac{du}{d\tau}\right)_{lm} = -b_1 \cdot (u_o - u_5) \cdot e^{(-b_1 \cdot \tau)} \quad (14)$$

$$\text{Faza II: } u_{llm} = (u_{pz} - u_{10}) \cdot e^{(-b_{II} \cdot \tau)} + u_{10} \quad (15)$$

$$\left(\frac{du}{d\tau}\right)_{llm} = -b_{II} \cdot (u_{pz} - u_{10}) \cdot e^{(-b_{II} \cdot \tau)} \quad (16)$$

gdzie:

u_{lm}, u_{llm} – zawartość wody w I i II fazie,

$(du/d\tau)_{lm}, (du/d\tau)_{llm}$ – szybkość suszenia w I i II fazie,

u_o, u_{pz} – początkowa zawartość wody w danej fazie,

u_5, u_{10} – zawartość końcowa wody w danej fazie,

b_I, b_{II} – współczynnik szybkości suszenia w danej fazie.

fazie.

W tabeli 2 przedstawiono średnie, minimalne i maksymalne wartości poszczególnych parametrów równań. Szyszki z Nadleśnictwa Oleśnica Śląska miały średnią początkową zawartość wody większą niż szyszki z Nadleśnictwa Jarocin o 0,008 kg_{H2O}/kg_{s.m.} – w fazie I i o 0,020 kg_{H2O}/kg_{s.m.} w fazie II. Współczynnik b dla obu partii był podobny i wynosił średnio w fazie I: 0,211/h (Nadleśnictwo Oleśnica Śląska) i 0,22 1/h (Nadleśnictwo Jarocin) oraz odpowiednio 0,42 oraz 0,43 1/h w fazie II.

Na rycinie 8 przedstawiono zmianę zawartości wody w czasie dla dwóch wybranych szyszek o najmniejszej (z Nadleśnictwa Oleśnica – szyszka 28) i największej (z Nadleśnictwa Jarocin – szyszka 49) początkowej zawartości wody. W pierwszej fazie następował ciągły spadek ilości wody. W drugiej, po początkowym wroście spowodowanym nawilżeniem, jej wartość także się obniżyła. Nie potwierdzono, że szyszki o wyższej początkowej wilgotności u_o (jak np. szyszka 49), po tym samym czasie nawilżenia na początku drugiej fazy, osiągają wyższą wartość wilgotności u_{pz} , w porównaniu z szyszkami o niższej początkowej jej zawartości (jak np. szyszka nr 28).

Na rycinie 9 przedstawiono zmiany szybkości suszenia. Znaczny wzrost szybkości suszenia szyszek nastąpił po ich nawilżeniu w drugiej fazie procesu. Być może dłuższy czas zraszania i nasiąkania mógłby doprowadzić do jeszcze wyższej wartości początkowej zawartości wody w drugiej fazie, a szybkość suszenia byłaby

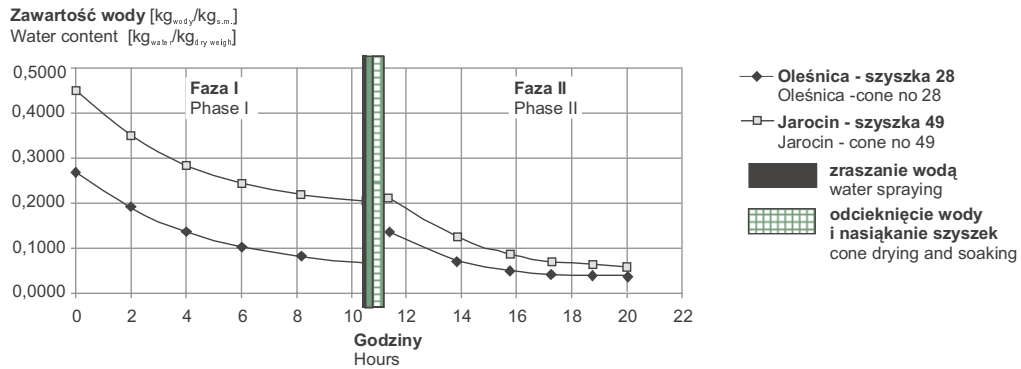
Tabela 2. Wartości średnie, odchylenia standardowe, min i max parametry równania zmiany zawartości wody i szybkości suszenia

Table 2. Value of means, standard deviations, min and max parameters of equation the change in water content and the drying rate of cones

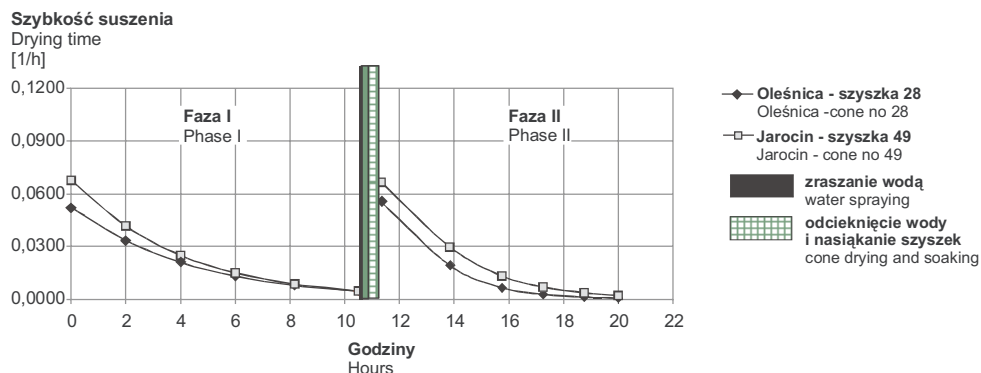
Wyszczególnienie Specification	Nadleśnictwo Forest District	Faza I			Faza II		
		początkowa zawartość wody starting water content	końcowa zawartość wody closing water content	b_I	początkowa zawartość wody starting water content	końcowa zawartość wody closing water content	b_{II}
		u_o	$u_k=u_5$		u_o	$u_k=u_5$	
		kg _{H2O} /kg _{s.m.}			1/h		
\bar{x}	Oleśnica Śląska	0,351	0,125	0,21	0,205	0,049	0,42
	Jarocin	0,343	0,102	0,22	0,185	0,045	0,43
δ	Oleśnica Śląska	0,030	0,076	0,03	0,043	0,044	0,14
	Jarocin	0,043	0,071	0,03	0,047	0,034	0,11
Min	Oleśnica Śląska	0,275	0,001	0,15	0,085	0,002	0,19
	Jarocin	0,263	0,006	0,17	0,070	0,003	0,24
Max	Oleśnica Śląska	0,418	0,222	0,26	0,297	0,163	0,65
	Jarocin	0,458	0,229	0,31	0,293	0,178	0,71

Objaśnienia: \bar{x} – średnia, δ – odchylenie standardowe, b_I, b_{II} – współczynniki

Designations: \bar{x} – mean, δ – standard deviation, b_I, b_{II} – factors



Rycina 8. Zmiana zawartości wody 2 wybranych szyszek z dwóch nadleśnictw
Figure 8. The change in water contents in the selected 2 cones from two Forest Districts



Rycina 9. Szybkość suszenia 2 wybranych szyszek z dwóch nadleśnictw
Figure 9. The drying rate of the selected 2 cones from two Forest Districts

inna od zaobserwowanej, podobnie jak miało to miejsce w przypadku łuszczenia szyszek modrzewia, gdzie czas nawilżenia i nasiąkania wynosił blisko dwie godziny (Aniszewska 2008).

Poniżej przedstawiono równania zmiany zawartości wody (17, 19, 21, 23) i szybkości suszenia (18, 20, 22, 24) dla poszczególnych faz dla wybranych szyszek z Jarocina i Oleśnicy Śląskiej.

Nadleśnictwo Oleśnica Śląska – szyszka nr 28

Faza I

$$u = 0,229e^{-0,23\tau} + 0,046 \quad (17)$$

dla: $u_0=0,275 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$, $u_5= u_k=0,046 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$,
 $b_1=0,23 \text{ 1/h}$.

$$du/d\tau = -0,053e^{-0,23\tau} \quad (18)$$

Faza II

$$u = 0,104e^{-0,56\tau} + 0,037 \quad (19)$$

dla: $u_{pz}=0,141 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$, $u_{10}= u_k=0,037 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$,
 $b_1=0,56 \text{ 1/h}$.

$$du/d\tau = -0,058e^{-0,56\tau} \quad (20)$$

Nadleśnictwo Jarocin – szyszka nr 49

Faza I

$$u = 0,272e^{-0,26\tau} + 0,186 \quad (21)$$

dla: $u_0=0,458 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$, $u_5= u_k=0,186 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$,
 $b_1=0,26 \text{ 1/h}$.

$$du/d\tau = -0,071e^{-0,26\tau} \quad (22)$$

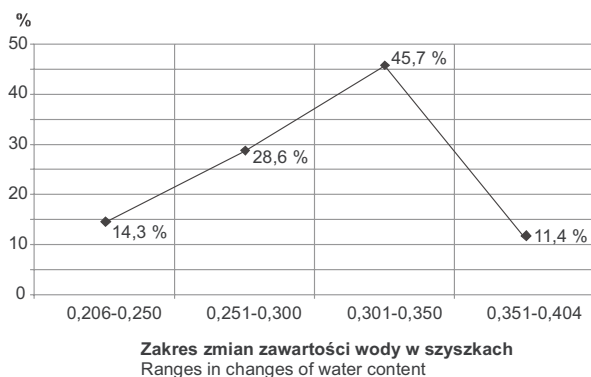
Faza II

$$u = 0,163e^{-0,42\tau} + 0,054 \quad (23)$$

dla: $u_{pz}=0,217 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$, $u_{10}= u_k=0,054 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$,
 $b_1=0,42 \text{ 1/h}$.

$$du/d\tau = -0,068e^{-0,42\tau} \quad (24)$$

Zawartość wody w chwili otwarcia łusek u_{ot} zawierała się w granicach od 0,061 do 0,071 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$, średnio – 0,067 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m}}$ (6,7%). Dla porównania, w przypadku modrzewia wynosiła ona średnio 0,074 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m}}$ (7,4%) (Aniszewska 2008), a dla sosny zwyczajnej łuszczonej w Czarnej Białostockiej – 0,078 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m}}$ (7,8%) (Aniszewska 2007b). Niższa wartość może być związana z najkrótszym, spośród cytowanych prób, czasem zraszania i nasiąkania szyszek.



Rycina 10. Udział procentowy szyszek w przedziałach zawartości zmian wody w czasie trwania procesu

Figure 10. The proportion of cones within the ranges of water content changes during the process

Zbadano zależność końcowej zawartości wody od początkowej w danej fazie, która okazała się istotna. Potwierdzeniem tego są współczynniki korelacji, które we wszystkich przypadkach przekroczyły graniczną wartość. Wzrost początkowej zawartości wody w I fazie o $0,10 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$ powodował wzrost zawartości końcowej wody o ok. $0,10 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$, a w II fazie – o ok. $0,04 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$. Na rycinie 10 przedstawiono zakres zmian zawartości wody w szyszkach dla całego procesu (różnicę między u_0 i u_{10}) dla badanych szyszek. Można zauważyć, że największy procent szyszek (45,7%) mieścił się w przedziale od 0,301 do 0,350 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$.

Przeprowadzona próba nie dała jednoznacznej odpowiedzi na postawione pytania dotyczące pozyskania jak największej liczby nasion z szyszek i/lub znacznego skrócenia czasu łuszczenia, np. przy użyciu nowych metod łuszczenia. Może jednak stanowić wskazówkę do dalszych badań przy zmienionych warunkach łuszczenia, np. przy wydłużeniu czasu zraszania i nasiąkania lub przy zastosowaniu metody trzyfazowej, tak jak miało to miejsce w przypadku modrzewia.

4. Wnioski

1. Proces dwufazowego łuszczenia szyszek sosny zwyczajnej ze zraszaniem (zmiany zawartości wody – u_{1m} , u_{11m} i szybkości suszenia – $du/d\tau_{1m}$, $du/d\tau_{11m}$) przeprowadzony w wyluszcarni gospodarczej w Jarocinie można opisać równaniami wykładniczymi dla fazy pierwszej i drugiej, w której średnia wartość początkowej zawartości wody u_0 dla szyszek z Jarocina i Oleśnicy Śląskiej wynosi: 0,351 i 0,343 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$ dla fazy I i 0,205 i 0,185 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$ dla fazy II, końcowej zawartości wody u_k odpowiednio: 0,125 i 0,102 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$ (faza I), 0,049 i 0,045 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$ (faza II) oraz współczynnika b – 0,21 i 0,22 1/h (faza I), 0,42 i 0,43 1/h (faza

II). Wartości te istotnie różnią się od otrzymanych przy procesie łuszczenia modrzewia czy sosny przy dłuższym czasie zraszania i nasiąkania.

2. Zastosowana faza II ze zraszaniem wodą szyszek w czasie procesu po znacznym obniżeniu wilgotności szyszek (zmniejszenia zawartości wody) powoduje zwiększenie stopnia i szybkości otwierania się łusek szyszek, a co za tym idzie – szybsze wydobycie nasion, o czym informuje wskaźnik stopnia otwarcia szyszek k , który dla szyszek z Nadleśnictwa Oleśnica Śląska wynosi 0,34, a dla Nadleśnictwa Jarocin – 0,35.

Proces łuszczenia można zakończyć po ok. 17 godzinach, gdyż znaczny przyrost pozyskiwanych nasion i ubytek masy trwa do pomiaru nr 8. Kończąc proces w tym czasie stracono ok. 13 i 9% nasion odpowiednio dla Jarocina i Oleśnicy, przy czym średnio 42% z nich stanowiły nasiona puste. Średnia zawartość wody w stanie końcowym otwarcia, gdy nie stwierdzano już zmian w stanie otwarcia łusek i pozyskania pozostałych nasion, dla szyszek z Nadleśnictwa Oleśnica Śląska wynosiła $0,071 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$ (7,1%), a dla szyszek z Jarocina $0,061 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$ (6,1%), przy średniej początkowej zawartości wody odpowiednio $0,351 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$ (35,1%) i $0,343 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$ (34,3%).

5. Literatura

- Aniszewska M. 2004: Analiza procesu cieplnego wyluszczenia nasion z szyszek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Praca doktorska, maszynopis w Katedrze Maszyn Rolniczych i Leśnych SGGW, Warszawa, 116 ss.
- Aniszewska M. 2007a: Efektywność łuszczenia szyszek sosny zwyczajnej w warunkach produkcyjnych, Warszawa, *Sylwan*, 9: 22-28.
- Aniszewska M. 2007b: Zmiany w przebiegu procesu łuszczenia szyszek sosny zwyczajnej w nowoczesnych wyluszczeniach gospodarczych w Polsce, Warszawa SGGW, Technika i technologia w leśnictwie polskim, monografia: 149-153.
- Aniszewska M., 2008: Charakterystyka wielofazowego procesu wyluszczenia nasion modrzewia europejskiego *Larix decidua* Mill. na przykładzie wyluszcarni gospodarczej w Czarnej Białostockiej, *Leśne Prace Badawcze*, Vol. 69 (2): 155-163.
- Bruchwald A. 1997: Statystyka matematyczna dla leśników. Wydanie 3 poprawione i uzupełnione. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 255 ss.
- Jaworski S. 2009: Analiza dwufazowego procesu łuszczenia szyszek sosny zwyczajnej w wyluszczeniach gospodarczej w Jarocinie. Praca magisterska, maszynopis w Katedrze Maszyn Rolniczych i Leśnych SGGW, Warszawa, 72 ss.
- Staszkiwicz J. 1968: Badania nad sosną zwyczajną z Europy południowo-wschodniej i Kaukazu oraz jej stosunkiem do innych obszarów Europy, oparte na zmienności morfologicznej szyszek.

Staszkiwicz J. 1993: Zmienność morfologiczna szpilek, szypek i nasion. *Biologia sosny zwyczajnej*, Instytut Dendrologii PAN, Poznań, 624 ss.

Załęski A. Matras J. 1998: Rozwiązania technologiczne i techniczne w nasiennictwie leśnym. *Postępy Techniki w Leśnictwie*, 66: 14-26.

Załęski A. 2002: Technologie i sprzęt stosowane w wyluszczeniu, oczyszczaniu, suszeniu i pakowaniu nasion. *Postępy Techniki w Leśnictwie*, 82: 21-33.