

Monika Aniszewska¹

Charakterystyka wielofazowego procesu wyluszczenia nasion modrzewia europejskiego *Larix decidua* Mill. na przykładzie wyluszczeni gospodarczej w Czarnej Białostockiej

Multiphase process of European larch *Larix decidua* Mill. seed extraction : a case of Czarna Białostocka

Abstract. The paper provides a detailed description of the process of multiphase extraction of European larch seeds. During three desiccation phases, cones were twice subject to sprinkling with water and shaking seeds out. Alternating desiccation, sprinkling and shaking resulted in gaining large quantities of seeds up to 88% of all the seeds in the cones while the seeds remaining in the cones were in 99% empty. The greatest number of seeds was obtained in the second phase – 64% of all the extracted seeds. The content of water in the cones at their opening and extracting the seeds amounted on average to 0.074 kg_{H₂O}/kg_{DW}. Mathematical equations were used for the description of the individual phases of the process (changes in water content and desiccation rate), which allowed for the detailed profile of the extraction process of the studied larch cones.

Key words: cones, process of extraction, desiccation, sprinkling.

1. Wstęp

Szyszki gatunków iglastych, zależnie od ich budowy anatomicznej, łuszczy się w sposób cieplny (sosna i świerk) lub cieplno–mechaniczny (modrzew). Szyszki wymienionych gatunków składają się z trzpienia oraz łusek nasienionych i wspierających, które często mogą tworzyć jeden twór. W czasie działania na szyszki powietrza o podwyższonej temperaturze i obniżonej wilgotności dochodzi do odchylenia łusek od trzpienia, czyli ich otwarcia i wysypania nasion. Łuski sosny składają się z tarczek i trzonów. U świerka i modrzewia brak jest tarczek, a łuska stanowi jedną gładką strukturę. Łuski świerka w porównaniu z modrzewiowymi mają bardziej wydłużony kształt, szczególnie u ich nasady. Przepuszczalność może mieć to wpływ na łatwiejsze odchylenie się ich od trzpienia. Z kolei łuski modrzewia, w porównaniu z sosnowymi i świerkowymi, są cieńsze, mniejsze i mają bardziej regularny zaokrąglony kształt. U typowego przedstawiciela modrzewia europejskiego bywają stosunkowo szerokie, zwężające się ku wierzchołkowi, o górnym brzegu owalnym, czasami karbowanym.

Łuski sosny i świerka dość łatwo ulegają odchyleniu od trzpienia, choć czas ich otwarcia różni się znacznie. W wyluszczeni gospodarczej w Czarnej Białostockiej z szyszek świerka pozyskuje się nasiona po 16–20 h, a z sosny po ok. 30–40 h. Natomiast w przypadku modrzewia oprócz suszenia szyszek stosuje się ich nawilżanie i mechaniczne kruszenie, co znacznie, nawet do 60 h, wydłuża czas pozyskania nasion.

Tyszkiewicz (1949) uważa, że szyszki można poddać mechanicznemu wyluszczeniu jedynie po ich wysuszeniu. Zdrewniałe łuski stają się wtedy bardziej kruche i dzięki temu można je szybciej odłamać (rozdrobnić) i wydobyć nasiona. Według Ilmurzyńskiego (1969) łuski modrzewia przy ogrzaniu oblepiają się żywicą, przez co ich odchylenie od trzpienia jest utrudnione. Aby umożliwić wydobycie maksymalnej ilości nasion, szyszki modrzewia powinny być na przemian suszone i nawilżane. Ruch łusek (zamykanie i otwieranie) powoduje wypychanie nasion na zewnątrz. Dodatkowo wprowadzany zabieg mechanicznego wytrząsania powoduje uzyskanie większej ilości nasion z szyszek.

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

Liczne próby procesu łuszczenia wykonali Drachal i Tyszkiewicz (Suszka 2000). Autorzy stwierdzili, że efektywność procesu zależy zawsze od dobrego wysuszenia szyszek, bowiem wtedy łuski łatwo ulegają kruszeniu. Po wydobyciu nasion należy oddzielić je z mieszaniny pyłu i resztek szyszek. Czynność ta jest trudna do wykonania szczególnie przy oddzielaniu nasion pustych od pełnych, bo ich masa właściwa jest podobna.

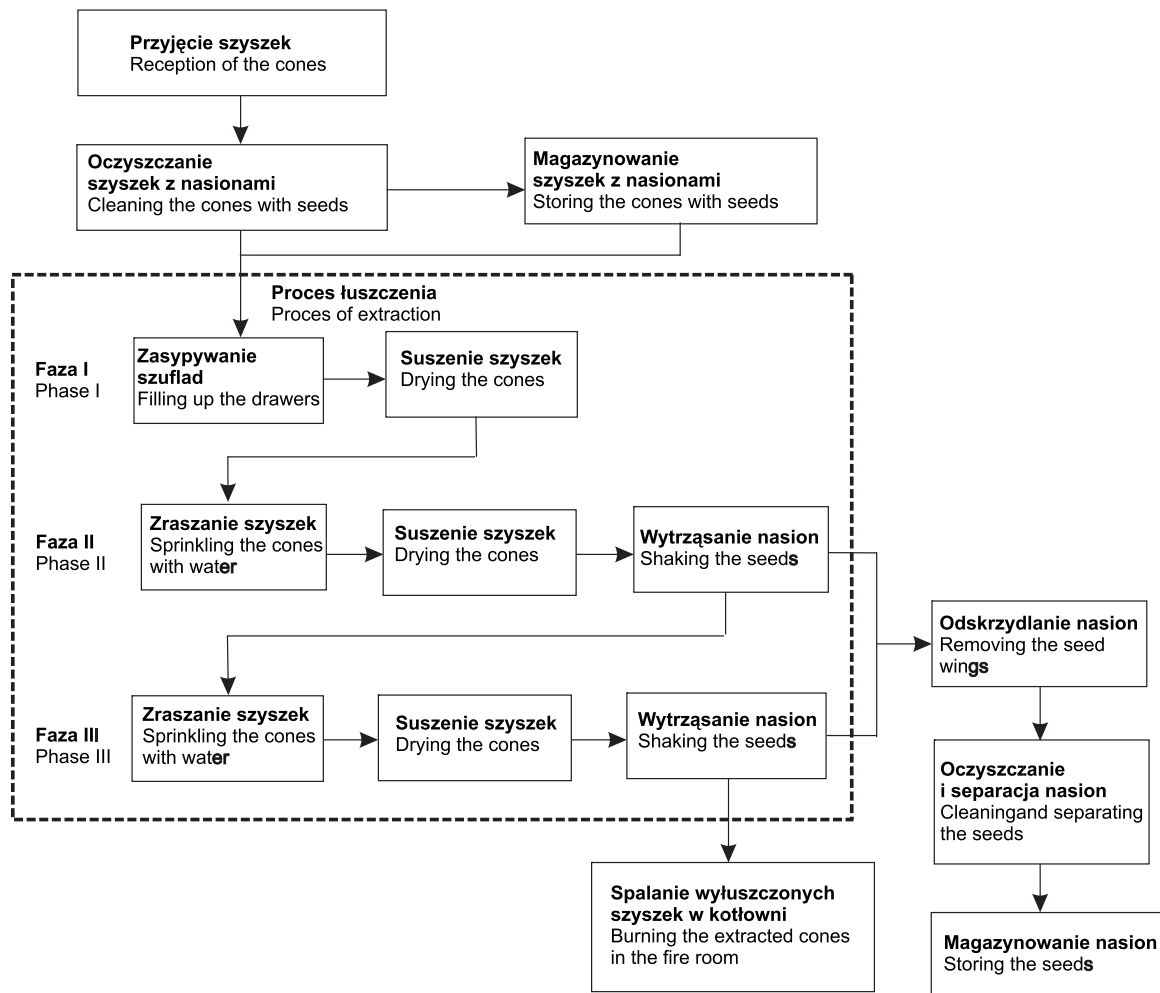
Obecnie w nowoczesnych wyluszczeniach przy łuszczeniu szyszek modrzewia stosuje się powietrze o niskiej wilgotności (które znacznie obniża ilość wody w szyszkach) i temperaturę nie przekraczającą 50°C. Pomija się zabieg kruszenia łuski, natomiast nasiona oddziela się np. w rotacyjnych odsiewaczach bębnowych. Dodatkowo, w celu zwiększenia efektywności procesu, szyszki otwierające się opornie zwilża się wodą i ponownie poddaje procesowi łuszczenia.

W artykule przedstawiono wyniki badania procesu łuszczenia szyszek modrzewia przeprowadzonego w

wyluszczeniach gospodarczej w Czarnej Białostockiej. Celem pracy było poznanie i opisanie zmian wilgotności szyszek w zależności od ich wielkości, wilgotności początkowej i warunków temperaturowo-wilgotnościowych. Zakres pracy obejmował: charakterystykę materiału badawczego przed i po łuszczeniu, matematyczny opis procesu oraz określenie czasu otwarcia szyszek i ilości pozyskanych nasion w poszczególnych fazach procesu łuszczenia.

2. Proces pozyskiwania nasion z wielofazowym łuszczeniem szyszek

Stosowany obecnie w wyluszczeniach w Czarnej Białostockiej proces pozyskania nasion modrzewia składa się z trzech grup czynności. Pierwsze związane są z przyjęciem, oczyszczeniem oraz magazynowaniem szyszek i nie różnią się niczym od prac wykonywanych przy do-



Rycina 1. Schemat procesu pozyskania nasion modrzewia w przypadku wielofazowego łuszczenia szyszek modrzewia

Figure 1. Diagram of the process of multiphase extraction of European larch seeds

starczaniu do wyluszczeni szyszek innych gatunków iglastych. Szczegółowo opisali je Sarnowska i Więsik (1997). Drugą grupę czynności stanowią te, które są związane z procesem łuszczenia szyszek i wytrząsania nasion. Należy do nich: zasypywanie szuflad, suszenie, zraszanie i wytrząsanie nasion. Trzecią grupę obejmują czynności związane z obróbką pozyskanych nasion (odskrzydlenie, oczyszczanie i segregacja).

Proces łuszczenia szyszek modrzewia trwa najdłużej ze wszystkich wyluszczanych gatunków i można wyróżnić w nim trzy fazy (ryc. 1). W pierwszej fazie łuszczenia szyszki są przetrzymywane tak długo w szafie, aż temperatura wewnątrz wzrośnie do ok. 50°C, co jest równoznaczne z osiągnięciem wilgotności ok. 27%, niezagrażającej uszkodzeniem nasion, bowiem zbyt wysoka temperatura i wilgotność mogłyby zniszczyć lub obniżyć ich żywotność.

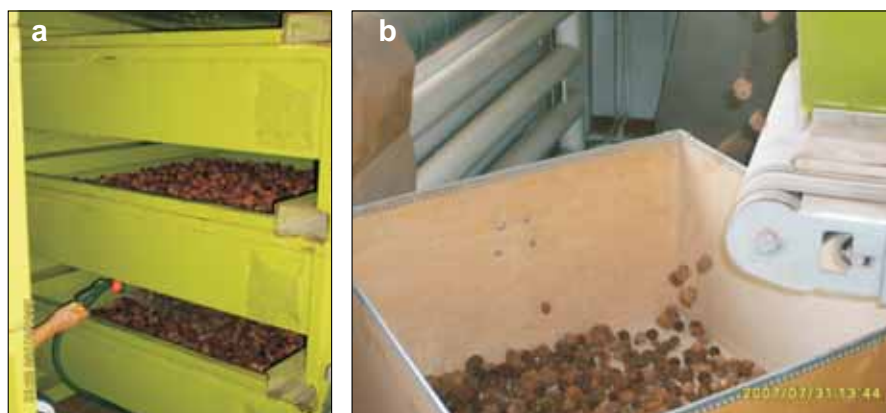
W wyluszczeni w Czarnej Białostockiej, przy umieszczeniu szyszek modrzewia w szafie łuszcarskiej, do pojedynczej skrzyni zazwyczaj zasypuje się maksymalnie 100 kg szyszek, czyli w szafie dwukomorowej jest ich łącznie 800 kg. Komputer sterujący procesem jest nastawiony tak, że wzrost temperatury do 50°C może nastąpić dopiero w momencie odpowiedniego zmniejszenia się wilgotności powietrza wewnątrz komory. Dla pełnego zasypu czas tego etapu trwa średnio około 2–3 zmiany (16–24 h). Po zmniejszeniu zawartości wody w szyszkach, wyjmuje się je z szafy łuszcarskiej i obficie skrapia wodą (ryc. 2 a). Jest to początek drugiej fazy procesu. Szyszki odstawia się na około jedną godzinę, aby ich łuski nasiąkły wodą, wskutek czego ulegają częściowemu zamknięciu. Następnie umieszcza się je ponownie w komorze suszarniczej. Czas ich przetrzymywania w szafie wynosi również dwie do trzech zmian roboczych (16–24 h). Ponownie, jak przy pierwszym suszeniu, temperatura wewnątrz suszarki musi wzrosnąć do ok. 50°C, a wil-

gotność powietrza osiągnąć wartość około 27%. Nastąpi to wtedy, gdy szyszki obniżą znacznie swoją wilgotność. Wtedy wyjmuje się je z szafy, wytrząsa i z części otwartych już szyszek oddziela nasiona.

Oddzielenia nasion od szyszek dokonuje się w urządzeniu do mechanicznego wyluszczenia nasion. Wytrząsanie nasion modrzewia, w porównaniu z nasionami sosny czy świerka, różni się tym, że wyluszczone szyszki modrzewia nie są w tej fazie procesu kierowane do kotłowni w celu spalania (jak praktykuje się z szyszkami sosny czy świerka), lecz ponownie się je nawilża i zasypuje nimi skrzynie (ryc. 2 b).

Wytrząsanie ok. 800 kg szyszek i powtórne moczenie trwa około jednej zmiany roboczej (8 h). Do tego wlicza się czas nasiąkania szyszek i zamykania łusek po ich kolejnym zraszaniu (około 1 h). Zraszanie, a następnie umieszczenie szyszek w szafie łuszcarskiej rozpoczynają trzecią fazę procesu, podczas której czas łuszczenia wynosi około dwóch zmian (16 h). Faza ta, tak jak poprzednia, kończy się zwiększeniem temperatury do ustalonej wartości oraz obniżeniem wilgotności powietrza i szyszek. Po zakończeniu łuszczenia nasiona oddzielane są od szyszek, które tym razem trafiają już bezpośrednio do kotłowni. Pozyskane nasiona poddawane są czynnościom obróbczym, polegającym na oddzieleniu od nich skrzydełek (odskrzydlenie), oczyszczeniu i separacji (np. oddzieleniu zanieczyszczeń i nasion pustych).

W Czarnej Białostockiej do odskrzydlenia nasion modrzewia stosuje się odskrzydlacz, który używany jest również do oddzielenia skrzydełek od nasion sosny i świerka. Przed odskrzydleniem nasion sosny i świerka skrapia się je wodą. W przypadku nasion modrzewia tej czynności się nie wykonuje, natomiast do bębna odskrzydlacza wsypuje się gumowe korki, które w czasie pracy urządzenia ocierają się o odskrzydlane nasiona i zwiększają efektywność obłamywania skrzydełek mo-



Rycina 2. Wybrane czynności podczas łuszczenia modrzewia: a – zraszanie i b – gromadzenie szyszek w skrzyni po wytrząsaniu nasion do kolejnego łuszczenia

Picture 2. Selected activities during larch seed extraction: a – sprinkling with water, b – collecting cones after shaking seeds for the subsequent extraction

drzewia. Użycie tego urządzenia, w porównaniu z dotychczas stosowanymi mechanicznymi metodami odskrzydlania, zmniejsza niebezpieczeństwo uszkodzenia okrywki nasiennej nasion.

Po odskrzydleniu nasiona poddaje się procesowi czyszczenia i separacji. Czynności te w wyluszczeni w Czarnej Białostockiej przeprowadza się w czyszczalni pneumatycznej. Dzieli ona zasypywany materiał na trzy frakcje zależnie od masy: 1 – nasiona pełne, 2 – nasiona puste i 3 – pozostałe drobiny. Ze względu na trudne rozdzielanie mieszaniny na poszczególne frakcje czyszczenie wykonuje się dwukrotnie.

Po opisanych zabiegach nasiona waży się, oznacza ich czystość, energię i zdolność kiełkowania. Następnie pakuje w szklane butle lub plastikowe worki i przenosi do chłodni krótko- lub długookresowej. Stamtąd nasiona są przekazywane właścicielom.

3. Metodyka badań

Materiał badawczy

Badania przeprowadzono na szyszkach modrzewia europejskiego *Larix decidua* Mill., które pozyskano na przełomie lutego i marca 2006 r. z plantacji nasiennej w Nadleśnictwie Bielsk Podlaski, w 465 regionie pochodzenia. Z partii przygotowanej do łuszczenia losowo wybrano 60 szyszek.

Szyszki miały kształt owalny i posiadały łuski stonkowo szerokie, o kształcie miseczkowatym, zwięzające się ku wierzchołkowi, o górnym brzegu karbowanym.

Sposób pomiaru charakterystycznych parametrów

Przed łuszczeniem dokonano pomiaru podstawowych parametrów szyszek: długości i grubości, suwmiarką z dokładnością 0,1 mm. Do pomiaru masy początkowej (m_0) oraz jej zmian w czasie procesu użyto wagi elektronicznej laboratoryjnej – WPS 600/C, której dokładność pomiaru wynosi 0,01 g.

W trakcie łuszczenia, od momentu zauważenia odchylenia się łusek, dokonano pomiaru masy w odstępach dwu-, cztero- i ośmiogodzinnych, w zależności od stanu badanych szyszek. Masę suchą określono po zakończeniu procesu łuszczenia, dosuszając wybrane szyszki w temperaturze 105°C w małej suszarce laboratoryjnej UT 6120 przez ok. 10 h, aż do ustalenia się stałej masy.

Nasiona pozyskane z szyszek liczone przed ich zraszaniem. Po zakończeniu wielofazowego procesu policzono i ważono wszystkie pozyskane nasiona. Do pomiaru masy nasion i skrzydełek wykorzystano tę samą wagę laboratoryjną, co do pomiaru masy szyszek. Na-

siona odskrzydlono w odskrzydlaczu hydropneumatycznym, bez użycia strumienia wody i oczyszczono przy użyciu separatora sitowego.

Po łuszczeniu dodatkowo określono całkowitą liczbę łusek znajdujących się na szyszce.

Warunki łuszczenia, zraszania i wytrząsania

Szyszki przygotowane do badań umieszczono w szafie łuszczeniowej w specjalnych workach z przegrodami (ryc. 3), razem z partią szyszek luzem o masie 400 kg, czyli po 50 kg w każdej szufladzie. Worki uszyte były z przewiewnej tkaniny, pozwalającej na swobodny przepływ przez nie suszącego powietrza, dzięki czemu szyszki w nich umieszczone miały takie same warunki jak pozostałe i mogły swobodnie się otwierać. Każda z szyszek była oznaczona kolejnym numerem i znajdowała się w osobnej przegrodzie, co pozwalało na dokładną jej identyfikację w czasie łuszczenia. W czasie trwania procesu szyszki były, zgodnie z ustaloną metodą, wyjmowane z komory i ważone, a nasiona, które już wypadły, były od nich oddzielane.

Proces przebiegał w dwóch komorach łuszczeniowych. Zaprogramowany klimat roboczy w procesie wyluszczenia to:

- początkowa temperatura suchego termometru +30°C,
- końcowa temperatura suchego termometru +48°C,
- początkowa temperatura mokrego termometru +20°C,
- końcowa temperatura mokrego termometru +29°C.

Po osiągnięciu wymaganego rezultatu łuszczenia szyszek, co można obserwować przez szyby w drzwiach komór, zatrzymywano proces ręcznie.

Całkowity czas przebywania szyszek w szafie wyniósł 33 godziny. Czas ten został podzielony na trzy fazy związane z trzykrotnym suszeniem, dwukrotnym wytrząsaniem w celu oddzielenia nasion i zraszaniem szyszek.



Rycina 3. Worki z szyszkami modrzewia przed umieszczeniem ich w szafie łuszczeniowej
Figure 3. Sacks with larch cones before placing them in an extraction chamber

Zraszanie odbywało się po wyjęciu szyszek z komory i po znacznym zmniejszeniu w nich zawartości wody. Związane było to z osiągnięciem maksymalnej temperatury 50°C oraz obniżeniem do około 27% wilgotności powietrza przepływającego przez suszone szyszki.

Sposób opracowania wyników

W czasie łuszczenia szyszki zmieniały swoją masę. Na podstawie ubytku i wzrostu masy zostały wyznaczone matematyczne równania opisujące przebieg zmian ich wilgotności zgodnie z ogólną formułą (Pabis 1969):

$$u = (u_o - u_k) \cdot e^{(-b\tau)} + u_k \quad (1)$$

gdzie:

u – chwilowa zawartość wody w czasie trwania procesu [kg_{H2O}/kg_{s.m.}],

u_o – zawartość początkowa wody [kg_{H2O}/kg_{s.m.}],

u_k – zawartość końcowa wody [kg_{H2O}/kg_{s.m.}],

b – współczynnik charakteryzujący rzeczywisty przebieg procesu [1/h],

τ – czas [h],

e – podstawa logarytmu naturalnego.

Chwilową zawartość wody w szyszce określono jako stosunek masy wody m_{H_2O} do masy suchej szyszki m_s i przyjęto, że masa wody m_{H_2O} jest równa różnicy masy chwilowej

$$u = \frac{m_{H_2O}}{m_s} = \frac{m - m_s}{m_s} \quad (2)$$

Wartość współczynnika b wyznaczono na podstawie rzeczywistego przebiegu zmian wilgotności ze wzoru:

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\ln \frac{u_i - u_k}{u_o - u_k}}{\tau_i} \quad (3)$$

gdzie n jest liczbą odczytów wartości masy szyszki m_i i τ_i podczas jej łuszczenia.

Po zróżniczkowaniu względem czasu równania (1) wyznaczono szybkość suszenia:

$$\frac{du}{d\tau} = -b \cdot (u_o - u_k) \cdot e^{(-b\tau)} \quad (4)$$

Przy użyciu powyższych równań opisano przebieg łuszczenia szyszek w poszczególnych fazach procesu.

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (5)$$

Do oceny podobieństwa między średnimi parametrami szyszek zastosowano test różnic między średnimi dla dużych prób ($n > 30$). Założono, że poszczególne zbiory miały rozkład normalny. Podstawą oceny, czy średnie porównywanych dwóch zbiorów mają taką samą wartość, jest statystyka Z , która jest standaryzowaną zmienną losową różnicy średnich z prób i ma rozkład $N(0,1)$. Postawiono hipotezę $H_0: \mu_1 = \mu_2$, i alternatywę $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, wartość $z_{\alpha/2} = 1,96$ (odczytana z tablic dystrybucyj rozkładu normalnego). Gdy $|Z| \geq z_{\alpha/2}$ to odrzucono H_0 ; w przeciwnym wypadku nie ma podstaw do jej odrzucenia.

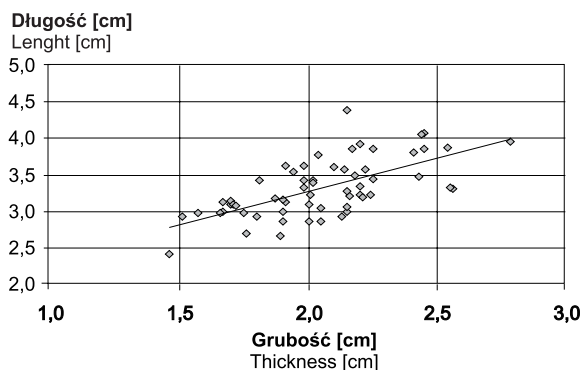
Dla poszczególnych parametrów szyszek i badanego procesu wartości krytyczne współczynnika korelacji prostej R (dla danej liczby stopni swobody v) dla danych równań przyjęto wg tablic statystycznych Bruchwalda (1997). Przy każdym równaniu regresji przedstawiono wartość krytyczną współczynnika korelacji dla $\alpha = 0,05$ i $v = n - 2$. Gdy $R \geq R_{tab}$, wówczas korelację uważano za istotną.

4. Wyniki i ich analiza

Charakterystyka szyszek

Materiał badawczy stanowił zbiór 60 szyszek o długości od 2,42 do 4,39 cm (średnio 3,32 cm), grubości od 1,46 do 2,76 cm (średnio 2,05 cm) i masie początkowej od 2,05 do 6,63 g (średnio 3,71 g). Wilgotność początkowa szyszek wynosiła średnio 20%. Odpowiadała więc wilgotności „normalnej”, zalecanej przez Tyszkiewiczza (1949) w odniesieniu do szyszek przed rozpoczęciem procesu łuszczenia termicznego.

Między długością a grubością szyszek tego zbioru występuje istotna statystycznie zależność liniowa (ryc. 4).



Rycina 4. Zależność długości od grubości szyszek
Figure 4. Dependence of the length upon the thickness of cones

Równanie regresji ma postać następującą:

$$h = 0,911 \cdot d + 1,4533 \quad R = 0,651 > R_{tab} = 0,250 \quad (6)$$

gdzie h i d w cm.

Z zależności tej wynika, że wraz ze wzrostem grubości szyszki o 1 mm następuje wzrost jej długości o około 0,9 mm.

Czas trwania procesu luszczenia

Całkowity czas wyluszczenia nasion (bez obróbki) wynosił 41 h. Zmniejszenie o połowę zasypu miało wpływ na skrócenie czasu luszczenia. Z całkowitego czasu luszczenia suszenie szyszek w szafie zajęło 33 h (w pierwszej fazie – 7,5 h, drugiej fazie – 12,5 h i trzeciej fazie – 13,0 h), natomiast pozostały czas obejmował: dwukrotne zraszanie i nasiąkanie szyszek w drugiej i trzeciej fazie po 1,5 h oraz dwukrotne wytrząsanie nasion po ok. 2,5 h. Do czasu trwania procesu należy dodać jeszcze czas przeznaczony na obróbkę nasion, która była wykonywana przez około dwie zmiany robocze (16 h). Łącznie proces pozyskania nasion trwał około 58 h.

Warunki luszczenia

W czasie procesu luszczenia temperatura suchego termometru wzrastała średnio od 23°C do ok. 50°C. Można zauważyć, że po rozpoczęciu nowej fazy temperatura suszenia gwałtownie wzrosła od 23 do 33°C, a później obniżyła się do około 27°C, aby po ok. 2 h podnieść się do założonej wartości 50°C. Temperatura mokrego termometru zwiększyła się od 20 do 30°C. Wilgotność powietrza wynosiła około 27%. Przykła-

dową pełną charakterystykę zmian temperatury suchego i mokrego termometru przedstawiono na rycinie 5.

Zmiana masy i wilgotności szyszek w kolejnych fazach luszczenia

W czasie procesu luszczenia, po każdej fazie, w której następowało obniżenie wilgotności szyszek, wyjmowano je z szafy i zraszano, podnosząc ich wilgotność, dzięki czemu następowało częściowe zamknięcie łusek. Po tym ponownie umieszczano je w szafie i kontynuowano suszenie. Po pierwszym zraszaniu (druga faza), przed ponownym umieszczeniem w szafie, masa szyszek badanego zbioru zawierała się w granicach od 2,93 do 7,99 g (średnio 4,79 g), po drugim (trzecia faza) od 2,88 do 7,89 g (średnio 4,73 g). Jak wynika z przedstawionych danych, różnica przeciętnej masy szyszek nasiąkniętych wodą wynosiła średnio 0,06 g i można przyjąć, że jest ona nieistotna (wg testu różnic między średnimi). Ale w porównaniu z masą początkową (na początku pierwszej fazy luszczenia) masa szyszek nasiąkniętych wodą wzrosła o ok. 1 g i ta różnica jest znacząca (ryc. 6).

Masa sucha szyszek modrzewia, określona po wysuszeniu ich w 105°C, zawierała się w granicach od 1,72 g do 5,29 g (średnio 3,10 g). Opisano ją następującymi równaniami:

– przed luszczeniem (ryc. 6a):

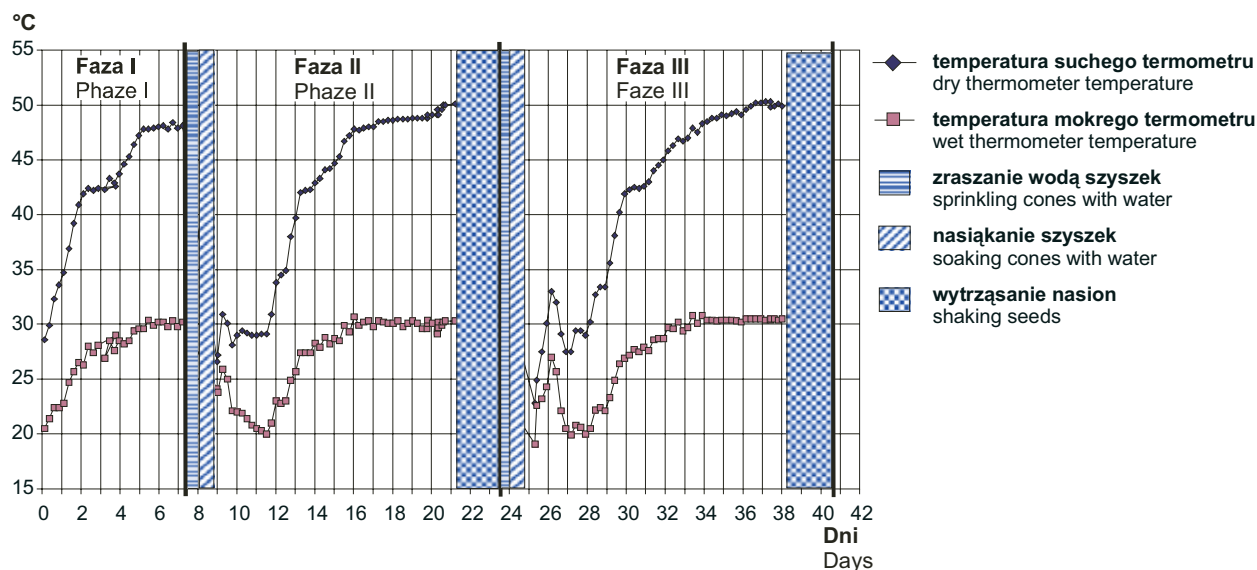
$$m = 2,4174 - 4,2987; \quad R = 0,7380 > R_{tab} = 0,2500 \quad (7)$$

– po pierwszym i drugim zraszaniu (ryc. 6b i c):

$$m = 2,4482 \cdot h - 3,3590; \quad R = 0,6852 > R_{tab} = 0,2500 \quad (8)$$

– po wysuszeniu do suchej masy (ryc. 6d):

$$m = 0,1947 \cdot h + 3,3603; \quad R = 0,7372 > R_{tab} = 0,2500 \quad (9)$$



Rycina 5. Zmiany temperatury zarejestrowanej wewnątrz komory suszenia z zaznaczeniem faz procesu luszczenia

Figure 5. Changes of the temperature measured inside the desiccation chamber with marking the phases of the extraction process

Zależność masy od długości po pierwszym i drugim zraszaniu została opisana jednym równaniem regresji, ponieważ nie stwierdzono istotnej zależności między nimi. Zmiana masy szyszek w poszczególnych fazach nie zależała od ich charakterystyki, ale była spowodowana zadanymi warunkami i czasem nawilżania.

Przebieg zmian zawartości wody w szyszkach umieszczonych w szafie luszczarskiej w poszczególnych fazach suszenia opisano równaniami przedstawionymi poniżej:

– I faza (0–7,5 h)

$$u_1 = (u_{o1} - u_{k1}) \cdot e^{-b_1 \cdot \tau} + u_{k1} \quad (10)$$

– II faza (9–21,5 h)

$$u_2 = (u_{o2} - u_{k2}) \cdot e^{-b_2 \cdot \tau} + u_{k2} \quad (11)$$

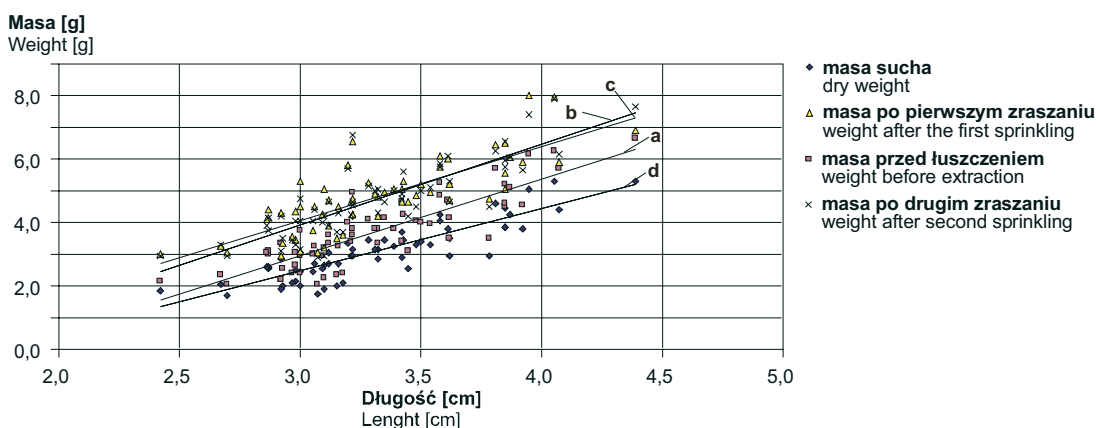
– III faza (25,5–38,0 h)

$$u_3 = (u_{o3} - u_{k3}) \cdot e^{-b_3 \cdot \tau} + u_{k3} \quad (12)$$

W tabeli 1 zamieszczono wartości minimalne i maksymalne początkowej i końcowej zawartości wody oraz współczynnika b dla trzech faz luszczenia.

Stosując test różnic między średnimi na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ stwierdzono istotną zależność między wszystkimi średnimi wielkościami $u_{k(1,2,3)}$ oraz $b_{(1,2,3)}$. W przypadku początkowej zawartości wody u_o nie stwierdzono istotnej zależności w drugiej i trzeciej fazie luszczenia (u_{o2} i u_{o3}), natomiast potwierdzono taką zależność w fazie pierwszej (u_{o1}).

Na rycinie 7 przedstawiono przebieg zmian zawartości wody w czasie luszczenia szyszki modrzewia wybranej z badanego zbioru (u_{rz} – rzeczywisty przebieg, i u_M – wyliczony z modelu). Opisana szyszka miała długość 35,8 mm, grubość – 22,2 mm, masę przed luszczaniem – 4,84 g, masę po pierwszym zraszaniu – 6,08 g, a po drugim – 5,86 g. Jej masa obniżała się po



Rycina 6. Zależność masy szyszek od ich długości: a – przed luszczaniem, b – po pierwszym zraszaniu, c – po drugim zraszaniu, d – po wysuszeniu szyszek w 105°C (masa sucha)

Figure 6. Dependence of the cones' weight upon their length: a – before extraction, b – after the first sprinkling with water, c – after the second sprinkling with water, d – after drying the cones at 105°C (dry weight)

Tabela 1. Wartości parametrów równania zmiany zawartości wody

Table 1. Parameter values of the equation of the water content change

Etapy suszenia Phases of desiccation	$u_o(1,2,3)$ [kg _{H2O} /kg _{s.m}]		$u_k(1,2,3)$ [kg _{H2O} /kg _{s.m}]		$b(1,2,3)$ [1/h]	
	min	max.	min	max.	min	max.
I faza I phase	0,114	0,292	0,027	0,156	0,31	0,49
	0,197		0,091		0,38	
II faza II phase	0,304	0,891	0,023	0,188	0,24	0,41
	0,569		0,082		0,31	
III faza III phase	0,329	0,836	0,058	0,096	0,27	0,39
	0,546		0,074		0,33	

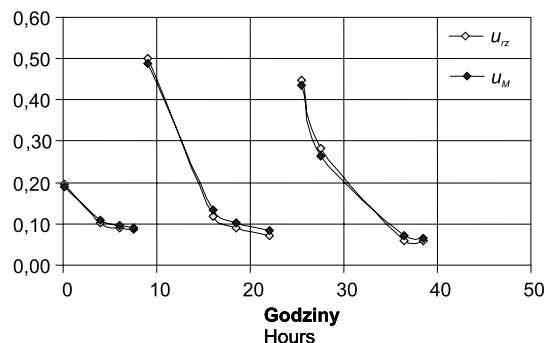
$u_o(1,2,3)$ – początkowa zawartość wody / initial water

$u_k(1,2,3)$ – końcowa zawartość wody / final water

$b(1,2,3)$ – współczynnik / coefficient

Zawartość wody [kg_{wody}/kg_{s.m}]

Water content [kg_{water}/kg_{dry weight}]



Rycina 7. Zmiany zawartości wody w przykładowej szyszce modrzewia

Figure 7. Changes of water content in a selected larch cone

każdym etapie suszenia: po 7,5 h do 4,40 g, po kolejnych 12,5 h do 4,34 g i po zakończeniu łuszczenia do 4,29 g. Masa sucha szyszki wynosiła 4,05 g.

Początkowa zawartość wody wynosiła odpowiednio: $u_{o1} = 0,195$, $u_{o2} = 0,501$, $u_{o3} = 0,447$ $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$, końcowa zaś: $u_{k1} = 0,085$, $u_{k2} = 0,071$, $u_{k3} = 0,058$ $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$, a współczynnik: $b_1 = 0,40$, $b_2 = 0,27$ oraz $b_3 = 0,32$ 1/h. Uwzględniając te wartości, równania zawartości wody przedstawiono poniżej:

$$\text{– I faza (0–7,5 h)} \\ u_1 = 0,110 \cdot e^{(-0,40 \cdot \tau)} + 0,085 \quad (13)$$

$$\text{– II faza (9–21,5 h)} \\ u_2 = 0,430 \cdot e^{(-0,27 \cdot \tau)} + 0,071 \quad (14)$$

$$\text{– III faza (25,5–38 h)} \\ u_3 = 0,389 \cdot e^{(-0,32 \cdot \tau)} + 0,058 \quad (15)$$

Zmiany szybkości suszenia $du/d\tau_{\text{rz}}$ wybranej szyszki są opisane następującymi równaniami (ryc. 8):

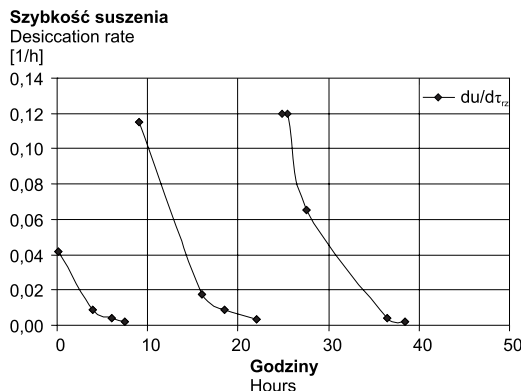
$$\text{– I faza (0–7,5 h)} \\ \frac{du}{d\tau_1} = 0,044 \cdot e^{(-0,40 \cdot \tau)} \quad (16)$$

$$\text{– II faza (9–21,5 h)} \\ \frac{du}{d\tau_2} = 0,116 \cdot e^{(-0,27 \cdot \tau)} \quad (17)$$

$$\text{– III faza (25,5–38,0 h)} \\ \frac{du}{d\tau_3} = 0,124 \cdot e^{(-0,32 \cdot \tau)} \quad (18)$$

Otwarcie szyszek – czas i wilgotność

Czas otwarcia szyszek modrzewia określony został jako czas pozyskania maksymalnej liczby nasion z poszczególnych szyszek. Dla badanej partii modrzewia równy był on czasowi zakończenia procesu otwierania 95% szyszek, czyli 38 h. Średnia zawartość wody w



Rycina 8. Zmiany szybkości suszenia w czasie trwania procesu łuszczenia

Figure 8. Changes of desiccation rate during the process of extraction

szyszkach w chwili ich otwarcia (wilgotność otwarcia) wynosiła 0,059–0,097, średnio 0,074 $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{s.m.}}$.

Nie stwierdzono istotnej zależności między wilgotnością otwarcia a długością szyszki ani początkową zawartością wody w wyróżnionych fazach suszenia. Analizując wyniki, potwierdzono natomiast istotną zależność wilgotności otwarcia od końcowej zawartości wody w fazie pierwszej i drugiej (u_{k1} , u_{k2}), przy czym współczynnik korelacji w obu przypadkach wynosił 0,442.

Ilość pozyskanych nasion

Z badanych szyszek modrzewia pozyskano łącznie 1545 nasion (w tym 180 po wyłuszczeniu w 105°C). Po pierwszym wytrząsaniu pozyskano – 989 nasion, a po drugim dodatkowo 376. Łącznie w szyszkach było od 0 do 69 nasion, średnio 26. Można zauważyć, że w drugiej fazie łuszczenia pozyskano ich ok. 64%, a w trzeciej, po kolejnym zraszaniu, jeszcze około 24%. Sumując te wartości nie otrzymamy 100%, gdyż w szyszkach pozostało jeszcze ok. 12% nasion, które pozyskano po wysuszeniu szyszek w 105°C. Nasiona te zostały zniszczone z powodu zbyt wysokiej temperatury panującej w suszarce.

W badanym zbiorze 10 szyszek miało do 10 nasion, 14 – do 20, 27 – do 40 i 9 – do 69.

Łączna masa nasion ze skrzydełkami wyniosła 9,03 g (od 0 do 0,49 g/szyszkę), średnio ok. 0,16 g, a bez skrzydełek – 7,86 g, średnio ok. 0,13 g. Wynika z tego, że średnia masa 1000 nasion ze skrzydełkami wynosi 6,1 g, a odskrzydlonych – ok. 5,0 g. Według Antosiewiczza (1970) średnia masa 1000 nasion tego gatunku zawiera się w granicach od 2,6 do 8,8 g. Średnia masa pozyskanych nasion w stosunku do masy początkowej szyszek (przy ok. 20% wilgotności) stanowi ok. 3,5%. Jest to wartość niższa niż podana przez Ilmurzyńskiego (1969) – 7,5%. W wyłuszczeni w badanym cyklu z 400 kg szyszek pozyskano łącznie 9,3 kg czystych nasion. Wynika z tego, że z 1 hl pozyskano ok. 0,75 kg nasion.

Badane szyszki miały od 40 do 65 sztuk łusek (średnio 51). Z analizy wynika, że wraz ze wzrostem długości czy grubości szyszek zwiększa się liczba łusek, co potwierdzono statystycznie.

5. Podsumowanie wyników

Badany proces pozyskania nasion modrzewia w wyłuszczeni w Czarnej Białostockiej był procesem wielofazowym, polegającym na naprzemiennym suszeniu, zraszaniu i wytrząsaniu nasion z otwierających się szyszek. Różni się on przebiegiem od powszechnie stosowanego mechanicznego wyłuszczenia nasion, w któ-

rym szyszki modrzewia poddawane są głównie kruszeniu. Warunki temperaturowo-wilgotnościowe łuszczenia przebiegały tak, jak dla sosny zwyczajnej i nie przekraczały 50°C (temperatura suchego termometru) i 31°C (temperatura mokrego termometru), a wilgotność powietrza wynosiła około 27%.

Całkowity czas trwania tego procesu dla zasypu 400 kg szyszek wynosił 41 h, w tym samo suszenie zajęło 33 h, pozostały czas obejmował zraszanie i nasiąkanie szyszek oraz wytrząsanie nasion. Najwięcej nasion (64%) pozyskano po pierwszym zraszaniu szyszek. Po zakończeniu procesu w szyszkach pozostało jeszcze około 12% nasion. W większości były to nasiona puste (90%), co wykazano na podstawie ich krojenia.

Czas otwarcia szyszek równy był czasowi zakończenia procesu, czyli 41 h, a zawartość wody w chwili otwarcia i pozyskania możliwych nasion wynosiła średnio 0,074 kg_{H₂O}/kg_{s.m.}. W czasie procesu z jednej szyszki pozyskano średnio po 26 nasion z około 51 otwartych łusek.

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.
- Antosiewicz Z. 1970: Nasiennictwo. Poradnik Leśnika. SITLiD, PWRiL, Warszawa.
- Bruchwald A. 1997: Statystyka matematyczna dla leśników. Wydanie 3 poprawione i uzupełnione. Wydawnictwo SGGW, Warszawa. 255 ss.
- Ilmurzyński E. 1969: Szczegółowa hodowla lasu. PWRiL, Warszawa, 450 ss.
- Pabis S. 1982: Teoria konwekcyjnego suszenia produktów rolniczych. PWRiL, Warszawa. 228 ss.
- Sarnowska G., Więsik J. 1997: Wyluszczenia w Czarnej Białostockiej. Część I. Proces technologiczny i przygotowanie szyszek do łuszczenia. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*, 11: 12-13.
- Tyszkiewicz S. 1949: Nasiennictwo leśne. T. 2. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa, 337 ss.
- Załęski A. 1995: Nasiennictwo leśnych drzew i krzewów iglastych. Wydawnictwo Świat, Warszawa, 179 ss.
- Suszka B. 2000: Nowe technologie i techniki w nasiennictwie leśnym. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Warszawa – Poznań, 271 ss.