

PRÓBA WYDZIELENIA SPORYSZU  
Z POOMŁOTOWEJ MIESZANINY ŻYTA

*Krzysztof Jadwisieńczyk, Zdzisław Kaliniewicz, Katarzyna Zalewska*

Katedra Maszyn Roboczych i Metodologii Badań, Wydział Nauk Technicznych,  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn  
e-mail: krzychj@uwm.edu.pl

**Streszczenie.** Celem pracy było określenie wybranych cech fizycznych ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu, prowadzone pod kątem wyznaczenia parametrów procesu ich rozdzielania. Materiał badawczy stanowiło ziarno żyta odmiany Dańkowskie Złote nadmiernie zanieczyszczone przetrwalnikami sporyszu (udział masowy ok. 0,2%). Określono prędkość krytyczną unoszenia, grubość, szerokość, długość, kąt tarcia ślizgowego (po stali, płótnie i gumie) oraz masę ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu, a także wyznaczono dla nich współczynniki kształtu, pole przekroju poprzecznego, objętość i gęstość. Porównano te cechy między sobą i wyznaczono między nimi współzależności, wykorzystując analizę wariancji z klasyfikacją pojedynczą, analizę korelacji oraz analizę regresji z procedurą krokowej eliminacji zmiennych niezależnych. Przy planowaniu procesu rozdzielczego wyznaczono wskaźniki podzielności mieszaniny, skuteczność wydzielania przetrwalników sporyszu, dopuszczalną czystość surowca oraz poziom strat ziarniaków żyta. Ziarniaki żyta w stosunku do przetrwalników sporyszu mają większą średnią prędkość krytyczną unoszenia, grubość, współczynnik kształtu  $\beta$  i gęstość, a mniejszą – długość, kąty tarcia ślizgowego po stali oraz gumie, masę, współczynnik kształtu  $\alpha$  i objętość. Pomimo występowania statystycznie istotnych różnic między wartościami średnimi analizowanych cech obliczone wskaźniki podzielności mieszaniny przyjmują bardzo małe wartości, co świadczy o dużym stopniu pokrywania się rozkładów cech tych składników. Potencjalnie najlepsze efekty wydzielania przetrwalników sporyszu z ziarna żyta uzyskano w wyniku zastosowania jako cech rozdzielczych ich szerokości i długości. Proces taki jest realizowany w trzech etapach, w których do odpadu kierowane są drobne cząstki z przesiewacza sitowego oraz najdłuższe i najkrótsze cząstki z tryjera. Dla uzyskania produktu zgodnego z normą i przy realizowaniu procesu z dopuszczalnymi stratami na poziomie 10%, zawartość przetrwalników sporyszu w surowcu nie powinna przekraczać 0,17%.

Słowa kluczowe: ziarno żyta, sporysz, cechy fizyczne, współzależności, rozdzielanie

## WYKAZ OZNACZEŃ

$c$  – czystość surowca dostarczonego do skupu (%),  
 $F$  – pole przekroju poprzecznego ziarniaka ( $\text{mm}^2$ ),  
 $k$  – współczynnik objętości ziarniaków,  
 $m$  – masa ziarniaka (mg),  
 $S$  – odchylenie standardowe cechy,  
 $T, W, L$  – grubość, szerokość i długość ziarniaka (mm),  
 $v$  – prędkość krytyczna unoszenia ziarniaka ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  
 $V$  – objętość ziarniaka ( $\text{mm}^3$ ),  
 $V_p$  – sumaryczna objętość ziarniaków ( $\text{mm}^3$ ),  
 $V_s$  – współczynnik zmienności cechy (%),  
 $\bar{x}, x_{max}, x_{min}$  – średnia, maksymalna i minimalna wartość cechy,  
 $z$  – straty zdrowych ziarniaków żyta (%),  
 $\alpha, \beta$  – współczynniki kształtu ziarniaka,  
 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  – kąt tarcia ślizgowego ziarniaka odpowiednio po stali, płótnie i gumie (stopień),  
 $\delta$  – wskaźnik podzielności mieszaniny dwuskładnikowej,  
 $\varepsilon_2$  – skuteczność wydzielania przetrwalników sporyszu (%),  
 $\rho$  – gęstość ziarniaka ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ).

## WSTĘP

Sporysz (*Claviceps purpurea*) to trujący i halucynogeny grzyb workowiec, który jak większość organizmów pasożytniczych odznacza się skomplikowanym cyklem rozwojowym. Rozwija się wewnątrz słupka kwitnącej rośliny, wypełniając go całkowicie splecioną masą strzępek tworzących podkładkę i wydzielających słodki sok zwabiający owady, które przenoszą zarodniki na zdrowe rośliny. W zainfekowanych źdźbłach traw i zbóż przez cały okres ich wegetacji rozwija się podkładka, która w okresie żniw ma już znacząco powiększoną powierzchnię przypominającą swoim wyglądem 2 cm różek o czarnej lub fioletowej barwie (Słownik... 1996).

Powstały w ten sposób przetrwalnik, zwany sklerotą, pod koniec wegetacji roślin mocno odchyła się z kłosa rośliny i opada na ziemię. Na wiosnę podczas intensywnego wzrostu roślin grzybnia ponownie bardzo szybko rozwija się. Spotkać ją można w postaci wyrastających trzoneczków zakończonych kulistymi głowami, które zawierają otocznie z zarodnikami. Zarodniki wyrzucane z worków są roznoszone przez wiatr, by w momencie natrafienia na słupek kwitnącej rośliny porazić ją i rozpocząć proces rozwoju grzyba od nowa (Gilles i in. 1972, Słownik... 1996).

Przy właściwie prowadzonym programie ochrony roślin sporysz obecnie występuje dość rzadko. Można go jednak spotkać wśród wolno rosnących traw na

przyleśnych polanach oraz poboczach dróg. Z uwagi na trujące i halucynogenne właściwości grzyb ten jest wykorzystywany do produkcji wielu leków. Dla celów farmakologicznych pozyskuje się go ze specjalnych poletek sztucznie zakażanego żyta (Ożarowski 1982, Słownik... 1996). Substancje czynne zawarte w sporyszu powodują skurcz mięśni gładkich macicy, zmniejszają pobudliwość nerwów współczulnych, powodują skurcz naczyń krwionośnych obwodowego układu żylnego i zwiększają ciśnienie tętnicze. Stosowane są w ginekologii, internie i neurologii (Migdał 2010, Ożarowski 1982).

Pozornie wydawałoby się, że nie ma problemu z tym grzybem. Jednak rozwijająca się obecnie moda na powstawanie małych ekologicznych gospodarstw nasila występowanie tej groźnej choroby (Zhukovsky 2006). Obowiązujące w Polsce normy, dopuszczające domieszkę przetrwalników sporyszu w zbożu na poziomie 0,05% (PN-R-74102:1996), są w wielu przypadkach trudne do zrealizowania. Stosowane w praktyce procesy technologiczne czyszczenia i sortowania mieszanin nasiennych nie gwarantują otrzymania produktu o wysokiej czystości. Problem jest bardzo trudny do rozwiązania, gdyż znajdujące się w mieszaninie przetrwalniki często różnią się wymiarami, co nie pozwala na ujednoczenie procesu technologicznego. Zastosowanie do siewu nasion zanieczyszczonych sporyszem stanowi potencjalne źródło infekcji i jest przyczyną jego rozprzestrzeniania się (Gilles i in. 1972, Prończuk 2005).

Z uwagi na fakt, że mieszanina nasiennea pochodziła z gospodarstwa ekologicznego, w którym wyprodukowano ziarno żyta z przeznaczeniem na materiał siewny, celem pracy było określenie wybranych cech fizycznych składników tej mieszaniny, prowadzone pod kątem wyznaczenia parametrów procesu ich rozdzielania.

#### METODYKA BADAŃ

Materiał badawczy stanowiło ziarno żyta odmiany Dańkowskie Złote, które w ramach kontraktacji, bezpośrednio po zbiorze kombajnowym, dostarczono do elewatora zbożowego prowadzącego skup zbóż w 2011 r. Zgodnie z procedurami przyjętymi w zakładzie surowiec najpierw zważono na wadze typu MR 428/7 z dokładnością do 10 kg, a następnie określono stopień zanieczyszczenia mieszaniny.

Z przeprowadzonej analizy laboratoryjnej wynikało, że głównym zanieczyszczeniem dostarczonego surowca, nie pozwalającym rolnikowi na jego sprzedaż, jest sporysz, którego ilość w mieszaninie przekraczała poziom 0,2%. Dla wyznaczenia cech rozdzielczych poszczególnych składników z masy 5000 kg mieszczącej się na przyczepie rolniczej pobrano 5 próbek z czterech narożników oraz ze środka skrzyni ładunkowej. Masa każdej próbki wynosiła około 2 kg. Po ich zmieszaniu do badań wyodrębniono po 300 ziarniaków żyta i przetrwalników

sporyszu w oparciu o metodę reprezentatywną (Greń 1984). Wilgotność względna ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu wynosiła odpowiednio 12,3 i 11,0%.

W pierwszym etapie pomiarów określono prędkość krytyczną unoszenia ziarniaków i przetrwalników za pomocą klasyfikatora pneumatycznego firmy Petkus, typu K-293, który umożliwił jej wyznaczenie z dokładnością do  $0,11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pomiarzy prowadzono zgodnie z metodyką opisaną przez Kaliniewicza i Trojanowskiego (2011). Następnie dokonano pomiarów trzech podstawowych wymiarów każdego ziarniaka i przetrwalnika za pomocą suwmiarki elektronicznej, umożliwiającej odczyt z dokładnością do 0,01 mm. Jej dokładność pomiarowa wg producenta wynosiła 0,02 mm. Odczytów dokonano w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach, przy czym największy wymiar stanowił długość, najmniejszy grubość, a pośredni – szerokość danego ziarniaka lub przetrwalnika.

Kąty tarcia ślizgowego badanych cząstek na trzech różnych powierzchniach (stal St3S, płótno i guma) wyznaczono na równi pochyłej o regulowanym ustawieniu. Chropowatość płytki stalowej i podłoża gumowego, określona przyrządem HOMMEL TESTER T1000, wynosiła odpowiednio 0,46 i 0,25  $\mu\text{m}$ . W badaniach użyto gumowanego od spodu płótna lnianego, o następującej charakterystyce: grubość nitki wątka – 0,35 mm, grubość nitki osnowy – 0,70 mm, liczba nici wątka przypadająca na 1 cm –  $2\times 14$ , liczba nici osnowy przypadająca na 1 cm – 14. Po zamocowaniu płytki z odpowiednim materiałem i umieszczeniu na niej ziarniaka lub przetrwalnika osią długą równoległą do kierunku nachylenia równi, wolno zwiększano kąt jej nachylenia, aż do wystąpienia ruchu ziarniaka. Wartość kąta odczytywano z kątomierza z dokładnością do  $1^\circ$ .

Masę ziarniaków i przetrwalników odczytano na wadze laboratoryjnej WAA 100/C/2 z dokładnością do 0,1 mg.

Ze względu na wyraźnie zarysowaną oś obrotu do wyznaczenia kształtu ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu zastosowano współczynniki Doneva (Donev i in. 2004). Oś ta pokrywa się z długością cząstek, przez co współczynniki te przyjmują następującą postać:

$$\alpha = \frac{L}{T} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{W}{T} \quad (2)$$

Założono, że ziarniaki żyta i przetrwalniki sporyszu w przekroju poprzecznym są zbliżone do elipsy. Zatem ich pole przekroju poprzecznego obliczono ze wzoru:

$$F = \frac{\pi \cdot W \cdot T}{4} \quad (3)$$

Aby wyznaczyć objętość ziarniaków oraz przetrwalników w pierwszym etapie, wykorzystano piknometr cieczowy o pojemności 25 cm<sup>3</sup>, wyposażony w termometr i kapilarę. Posłużył on do określenia sumarycznej ich objętości  $V_p$ . Na podstawie wyznaczonej objętości i wymiarów obliczono wartość współczynnika objętości ze wzoru:

$$k = \frac{V_p}{\sum(T \cdot W \cdot L)} \quad (4)$$

W związku z powyższym objętość  $V$  każdego ziarniaka i przetrwalnika wyznaczono wg następującej zależności:

$$V = k \cdot T \cdot W \cdot L \quad (5)$$

Gęstość  $\rho$  ziarniaków i przetrwalników obliczono ze wzoru:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (6)$$

Wyniki pomiarów i obliczeń opracowano statystycznie przy użyciu programów statystycznych „Winstat” i „Statistica PL (wer. 10)”, przy użyciu ogólnie znanych procedur statystycznych (test t dla prób niezależnych, analiza korelacji i analiza regresji z procedurą krokową eliminacji zmiennych niezależnych). Obliczenia przeprowadzono przy poziomie istotności 0,05.

Wskaźnik podzielności mieszaniny dwuskładnikowej ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu obliczono ze wzoru (Rawa i Semczyszyn 1988):

$$\delta = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{3(S_1 + S_2)} \quad (7)$$

gdzie:  $\bar{x}_1$  i  $\bar{x}_2$  oraz  $S_1$  i  $S_2$  oznaczają wartość średnią i odchylenie standardowe danej cechy odpowiednio dla ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu.

Przy planowaniu procesów czyszczenia mieszaniny wyznaczono skuteczność wydzielania  $\varepsilon_2$  przetrwalników sporyszu ze stosunku masy przetrwalników potencjalnie odprowadzanych do odpadu i masy przetrwalników znajdujących się w analizowanej próbce. Czystość surowca  $c$  określono z ilorazu masy ziarniaków żyta i masy wszystkich cząstek znajdujących się w próbce (suma masy ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu). Poziom strat  $z$  ziarniaków żyta obliczono z ilorazu masy ziarniaków potencjalnie kierowanych do odpadu podczas wszystkich etapów procesu rozdzielczego (etap aktualny i poprzednie) i początkowej masy tych ziarniaków przed rozpoczęciem cyklu procesu rozdzielczego (Grochowicz 1994).

## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Parametry statystyczne zmierzonych cech i obliczonych wskaźników dla materiału badawczego przedstawiono w tabeli 1. Najwyższe wartości wskaźnika zmienności cech fizycznych odnotowano dla masy (ok. 37% dla ziarniaków żyta i aż około 60% dla przetrwalników sporyszu). Dla pozostałych cech parametr ten przyjmuje wartość od 10,23 do 17,80% w przypadku ziarniaków żyta oraz od 13,56 do 25,62% w przypadku przetrwalników sporyszu. Rozrzut badanych cech fizycznych ziarniaków żyta oraz ich wartości średnie odpowiadają wartościom podawanym przez Grochowicza (1994). Są one nieco niższe od prezentowanych przez innych autorów (Matras i Szot 2009, Podstawka-Chmielewska i Kurus 2007, Zdybel i in. 2009), z czego wynika, że materiał badawczy był mało dorodny.

Na podstawie obliczeń wyznaczono współczynniki objętości ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu. Wynosiły one odpowiednio 0,579 i 0,641. Wobec tego objętość ziarniaków żyta można obliczyć ze wzoru:

$$V = 0,579 \cdot T \cdot W \cdot L \quad (8)$$

a objętość przetrwalników sporyszu z zależności:

$$V = 0641 \cdot T \cdot W \cdot L \quad (9)$$

Wśród wyznaczonych wskaźników najmniejszą zmiennością charakteryzował się współczynnik kształtu  $\beta$  (około 15%), a największą objętość (około 36% dla ziarniaków żyta i około 65% dla przetrwalników sporyszu).

Na podstawie testu t dla prób niezależnych stwierdzono, że ziarniaki żyta i przetrwalniki sporyszu nie różnią się między sobą jedynie pod względem szerokości, kąta tarcia ślizgowego po płótnie i pola przekroju poprzecznego. W pozostałych przypadkach występują istotne statystycznie różnice. Ogólnie można podać, że ziarniaki żyta mają większą grubość i gęstość od przetrwalników sporyszu, co przekłada się też na ich większą prędkość krytyczną unoszenia.

Wyniki analizy korelacji prostoliniowej przedstawiono w tabeli 2. Jak widać, wartość krytyczna jest przekroczona dla dużej liczby cech fizycznych. Parametrem skorelowanym z najmniejszą liczbą cech jest gęstość, zarówno ziarniaków żyta, jak i przetrwalników sporyszu. Stosunkowo wysokie wartości współczynników korelacji, jak można było się domyślać, odnotowano pomiędzy wymiarami a masą ziarniaków oraz przetrwalników. Ponadto duże wartości współczynników korelacji stwierdzono pomiędzy grubością ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu a ich szerokością i prędkością krytyczną unoszenia. Na masę ziarniaków żyta, przy uwzględnianiu tylko cech fizycznych, najbardziej wpływa ich grubość, a na masę przetrwalników sporyszu – ich długość. Określone przez autorów

współczynniki korelacji pomiędzy wymiarami ziarniaków żyta są zbliżone do podawanych przez Grochowicza (1994). Wartości tych współczynników są zdecydowanie mniejsze od uzyskanych przez Hebdę i Micka (2007), którzy badali wybrane odmiany ziarna jęczmienia i owsa. Wynika z tego, że próbkę do badań pobrano prawidłowo, gdyż materiał charakteryzuje się dużym urozmaiceniem.

**Tabela 1.** Parametry statystyczne rozkładów cech fizycznych oraz obliczonych wskaźników ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu

**Table 1.** Distribution of physical attributes and calculated indicators of rye seeds and ergot sclerotia

| Rodzaj cząstki / Particle | Cecha fizyczna / wskaźnik / Physical attribute / indicator | $x_{min}$ | $x_{max}$ | $\bar{x}$           | $S$    | $V_s$ |
|---------------------------|--|-----------|-----------|---------------------|--------|-------|
| Żyto / Rye                | $v$  | 4,125     | 9,075     | 7,82 <sup>B</sup>   | 1,113  | 14,24 |
|                           | $T$  | 0,82      | 2,92      | 2,14 <sup>B</sup>   | 0,382  | 17,80 |
|                           | $W$  | 1,43      | 3,42      | 2,42 <sup>A</sup>   | 0,364  | 15,03 |
|                           | $L$  | 5,22      | 9,60      | 7,37 <sup>A</sup>   | 0,754  | 10,23 |
|                           | $\gamma_1$   | 20        | 54        | 35,7 <sup>A</sup>   | 6,073  | 17,02 |
|                           | $\gamma_2$   | 33        | 80        | 52,1 <sup>A</sup>   | 8,197  | 15,75 |
|                           | $\gamma_3$   | 27        | 66        | 39,8 <sup>A</sup>   | 6,462  | 16,26 |
|                           | $m$  | 4,8       | 56,2      | 27,8 <sup>A</sup>   | 10,343 | 37,19 |
|                           | $\alpha$   | 2,367     | 8,146     | 3,538 <sup>A</sup>  | 0,699  | 19,77 |
|                           | $\beta$  | 1,004     | 2,369     | 1,147 <sup>B</sup>  | 0,171  | 14,95 |
|                           | $F$  | 1,082     | 7,521     | 4,168 <sup>A</sup>  | 1,255  | 30,10 |
|                           | $V$  | 5,328     | 49,013    | 23,004 <sup>A</sup> | 8,264  | 35,92 |
|                           | $\rho$   | 0,446     | 2,096     | 1,215 <sup>B</sup>  | 0,217  | 17,89 |
| Sporysz / Ergot           | $v$  | 4,125     | 9,075     | 6,88 <sup>A</sup>   | 0,957  | 13,90 |
|                           | $T$  | 1,09      | 3,58      | 2,01 <sup>A</sup>   | 0,379  | 18,90 |
|                           | $W$  | 1,43      | 4,32      | 2,45 <sup>A</sup>   | 0,500  | 20,43 |
|                           | $L$  | 5,07      | 17,85     | 9,20 <sup>B</sup>   | 2,357  | 25,62 |
|                           | $\gamma_1$   | 21        | 56        | 37,7 <sup>B</sup>   | 6,299  | 16,69 |
|                           | $\gamma_2$   | 32        | 75        | 51,0 <sup>A</sup>   | 7,969  | 15,63 |
|                           | $\gamma_3$   | 28        | 60        | 42,4 <sup>B</sup>   | 5,752  | 13,56 |
|                           | $m$  | 8,9       | 156,7     | 32,3 <sup>B</sup>   | 19,302 | 59,72 |
|                           | $\alpha$   | 1,857     | 10,441    | 4,660 <sup>B</sup>  | 1,153  | 24,74 |
|                           | $\beta$  | 1,000     | 2,624     | 1,227 <sup>A</sup>  | 0,181  | 14,74 |
|                           | $F$  | 1,527     | 12,090    | 3,970 <sup>A</sup>  | 1,567  | 39,46 |
|                           | $V$  | 9,369     | 150,766   | 31,222 <sup>B</sup> | 20,270 | 64,92 |
|                           | $\rho$   | 0,528     | 1,959     | 1,067 <sup>A</sup>  | 0,183  | 17,12 |

A, B – różne litery oznaczają różnice statystycznie istotne dla danej cechy,

A, B – uppercase letters in the superscript indicate significant differences for particular property.

Źródło: obliczenia własne autorów

Source: own calculations

**Tabela 2.** Współczynniki korelacji liniowej Pearsona między cechami ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu**Table 2.** Pearson's linear correlation coefficients between physical attributes of rye seeds and ergot sclerotia

| Rodzaj cząstki<br>Particle | Cecha fizyczna<br>Physical attribute | $v$ | $T$  | $W$  | $L$  | $\gamma_1$ | $\gamma_2$ | $\gamma_3$ | $m$   | $\rho$ |
|----------------------------|--------------------------------------|-----|------|------|------|------------|------------|------------|-------|--------|
| Żyto<br>Rye                | $v$                                  | 1   | 0,67 | 0,52 | 0,31 | -0,15      | -0,42      | -0,21      | 0,65  | 0,34   |
|                            | $T$                                  |     | 1    | 0,81 | 0,50 | -0,36      | -0,44      | -0,34      | 0,84  | 0,01   |
|                            | $W$                                  |     |      | 1    | 0,49 | -0,35      | -0,35      | -0,26      | 0,80  | -0,11  |
|                            | $L$                                  |     |      |      | 1    | -0,18      | -0,11      | -0,09      | 0,63  | -0,02  |
|                            | $\gamma_1$                           |     |      |      |      | 1          | 0,20       | 0,23       | -0,33 | 0,02   |
|                            | $\gamma_2$                           |     |      |      |      |            | 1          | 0,25       | -0,37 | -0,15  |
|                            | $\gamma_3$                           |     |      |      |      |            |            | 1          | -0,26 | -0,01  |
|                            | $m$                                  |     |      |      |      |            |            |            | 1     | 0,35   |
|                            | $\rho$                               |     |      |      |      |            |            |            |       | 1      |
| Sporysz<br>Ergot           | $v$                                  | 1   | 0,57 | 0,45 | 0,35 | -0,36      | -0,56      | -0,26      | 0,52  | 0,06   |
|                            | $T$                                  |     | 1    | 0,77 | 0,40 | -0,36      | -0,32      | -0,20      | 0,71  | -0,39  |
|                            | $W$                                  |     |      | 1    | 0,45 | -0,29      | -0,21      | -0,17      | 0,76  | -0,39  |
|                            | $L$                                  |     |      |      | 1    | -0,25      | -0,13      | -0,17      | 0,80  | 0,01   |
|                            | $\gamma_1$                           |     |      |      |      | 1          | 0,38       | 0,20       | -0,35 | 0,01   |
|                            | $\gamma_2$                           |     |      |      |      |            | 1          | 0,31       | -0,24 | -0,05  |
|                            | $\gamma_3$                           |     |      |      |      |            |            | 1          | -0,21 | -0,05  |
|                            | $m$                                  |     |      |      |      |            |            |            | 1     | -0,01  |
|                            | $\rho$                               |     |      |      |      |            |            |            |       | 1      |

Bezwzględna wartość krytyczna współczynnika korelacji – 0,114,  
Absolute critical value of correlation coefficient – 0.114.

Źródło: obliczenia własne autorów  
Source: own calculations

Równania jednej zmiennej opisujące dane cechy fizyczne, dla których procent wyjaśnionej zmienności był większy od 40, zebrano w tabeli 3. Ze względu na wysoki procent wyjaśnionej zmienności podane zależności można stosować przy przeliczaniu jednych cech na drugie. Sytuacja taka może mieć miejsce m.in. wtedy, gdy trzeba materiał posortować ze względu na jakąś cechę, ale ze względu na brak odpowiedniej aparatury, istnieje możliwość pomiaru zupełnie innej cechy fizycznej. Ponadto mając do dyspozycji powyższe równania, analizę danego surowca można



przeprowadzać w sposób uproszczony, dokonując pomiaru tylko tych cech, które wymagają niewielkiego nakładu pracy i są proste do wykonania. Wśród podanych równań najwyższy procent wyjaśnionej zmienności uzyskano dla grubości i masy ziarniaków żyta (ok. 75%), a dla przetrwalników sporyszu – dla długości i masy (ok. 73%). Pokrywa się to z wynikami uzyskanymi za pomocą analizy korelacji.

**Tabela 3.** Równania jednej zmiennej opisujące cechy fizyczne ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu  
**Table 3.** Single variable equations describing the physical attributes of rye seeds and ergot sclerotia

| Rodzaj cząstki<br>Particle | Równanie – Equation                                      | Procent wyjaśnionej zmienności<br>Proportion of variance explained | Odchylenie standardowe reszt<br>Standard deviation of residuals |
|----------------------------|--|--|---|
| Żyto<br>Rye                | $v = 4,843T - 0,225T^3 - 0,148$                          | 51,42  | 0,777   |
|                            | $v = 0,433m - 0,011m^2 + 0,095 \cdot 10^{-3}m^3 + 2,472$ | 56,97  | 0,733   |
|                            | $T = 1,087W - 0,126 \cdot 10^{-2}W^5 - 0,361$            | 66,86  | 0,220   |
|                            | $T = 0,062m - 0,549 \cdot 10^{-3}m^2 + 0,896$            | 75,40  | 0,190   |
|                            | $W = 0,193T^2 + 1,509$                                   | 68,39  | 0,205   |
|                            | $W = 0,028m + 1,631$                                     | 65,25  | 0,215   |
|                            | $L = 0,046m + 6,076$                                     | 40,67  | 0,581   |
|                            | $m = 5,631T^2 + 1,112$                                   | 72,38  | 5,435   |
|                            | $m = 22,940W - 27,762$                                   | 65,25  | 6,097   |
|                            | $m = 8,747L - 36,642$                                    | 40,67  | 7,967   |
| Sporysz<br>Ergot           | $T = 0,587W + 0,572$                                     | 59,74  | 0,241   |
|                            | $T = 0,024m - 0,083 \cdot 10^{-3}m^2 + 1,352$            | 54,83  | 0,255   |
|                            | $W = 0,238T^2 + 1,452$                                   | 61,38  | 0,311   |
|                            | $W = 0,029m - 0,074 \cdot 10^{-3}m^2 + 1,628$            | 59,59  | 0,318   |
|                            | $L = 0,162m - 0,053 \cdot 10^{-2}m^2 + 4,729$            | 69,09  | 1,313   |
|                            | $m = 0,805T^4 + 16,134$                                  | 58,04  | 12,504  |
|                            | $m = 1,260W^3 + 11,417$                                  | 63,34  | 11,686  |
| $m = 0,019L^3 + 14,189$    | 72,69  | 10,087   |   |

Źródło: obliczenia własne autorów  
 Source: own calculations

Ze względu na stwierdzone różnice w cechach fizycznych ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu obliczono wskaźniki podzielności mieszaniny (tab. 4). Ich wartości zmieniają się w zakresie od 0,012 do 0,202, co oznacza, że właściwie nie ma możliwości pełnego rozdzielania mieszaniny przy użyciu którejkolwiek z badanych cech jako cechy rozdzielczej. Ogólnie bardzo małe wartości tych wskaźników sugerują, że nawet łączenie w procesie rozdzielczym kilku cech nie da zadawalających efektów.

Dla rozwiązania zaistniałej sytuacji nadmiernego zanieczyszczenia badanego materiału przetrwalnikami sporyszu wyniki pomiarów cech wykorzystywanych w procesach rozdzielczych posortowano za pomocą programu Excel. Założono, że w rezultacie skierowania do odpadu cząstek z górnej lub dolnej części rozkładu danej cechy czystość produktu będzie wynosiła 99,95%, a potencjalne straty ziarniaków żyta nie przekroczą poziomu 10%. Wyniki tych obliczeń podano w tabeli 5. Jak widać, skuteczność wydzielania przetrwalników sporyszu była najmniejsza przy wykorzystaniu prędkości krytycznej unoszenia (6,77%), a największa przy wykorzystaniu długości (68,71%). Wynika z tego, że w procesie rozdzielczym powinien być stosowany tryjer. Dopuszczalna zawartość przetrwalników sporyszu w surowcu poddawanemu czyszczeniu nie może przekroczyć poziomu 0,14%. Ze względu na wyższe zanieczyszczenie badanego materiału przetrwalnikami sporyszu, nie jest możliwe uzyskanie produktu zgodnego z wymaganiami przy zaplanowanych stratach ziarniaków żyta.

W związku z powyższym postanowiono dokonać obliczeń z wykorzystaniem w procesie kilku cech i realizować go z założonymi podobnie jak wcześniej, stratami ziarniaków żyta. Najlepsze efekty wydzielania przetrwalników sporyszu uzyskano przy wykorzystaniu szerokości i długości badanych cząstek jako cech rozdzielczych. Schemat blokowy tego procesu jest zaprezentowany na rysunku 1. W pierwszym etapie jest proponowane użycie sita z otworami okrągłymi o średnicy 3,25 mm. Po oddzieleniu frakcji drobnej materiał należy skierować do tryjera i realizować proces w dwóch etapach: pierwszy z wykorzystaniem płaszcza z wgłębieniami o średnicy 8,8 mm, a drugi – z wgłębieniami o średnicy 6,4 mm. W wyniku zastosowania proponowanego procesu czystość surowca kierowanego

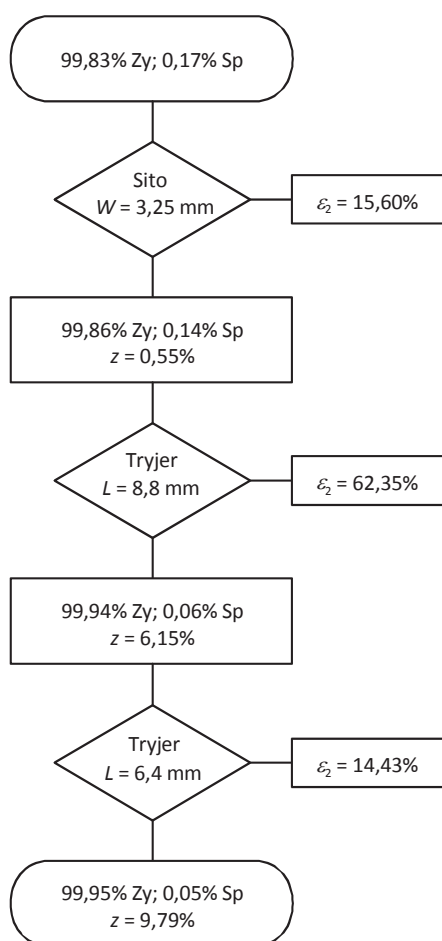
**Tabela 4.** Wartości wskaźnika podzielności  $\delta$  mieszaniny ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu

**Table 4.** Indicator of separation efficiency  $\delta$  of rye seeds and ergot sclerotia

| Cecha fizyczna/wskaźnik<br>Physical attribute /<br>indicator | $\delta$ |
|--|----------|
| $v$  | 0,151    |
| $T$  | 0,057    |
| $W$  | 0,012    |
| $L$  | 0,196    |
| $\gamma_1$   | 0,054    |
| $\gamma_2$   | 0,023    |
| $\gamma_3$   | 0,071    |
| $m$  | 0,051    |
| $\alpha$   | 0,202    |
| $\beta$  | 0,076    |
| $F$  | 0,023    |
| $V$  | 0,096    |
| $\rho$   | 0,123    |

Źródło: obliczenia własne autorów  
Source: own calculations

do czyszczenia może osiągnąć poziom 99,83%. Jak widać, uzyskanie produktu zgodnego z wymaganiami, nawet przy wykorzystaniu kilku cech rozdzielczych, nie jest możliwe do zrealizowania w przypadku analizowanego materiału badawczego. Należałoby w tym przypadku wypróbować jeszcze metodę flotacji w roztworze NaCl lub KCl, czyli wykorzystać różnice w zwilżalności powierzchni ziarniaków żyta i przetrwalników sporyszu (Gilles i in. 1972).



Źródło: obliczenia własne autorów – *Source: own calculations*

**Rys. 1.** Schemat blokowy algorytmu procesu oddzielania przetrwalników sporyszu (Sp) od ziarniaków żyta (Zy), realizowanego ze stratami ziarniaków gatunku podstawowego na poziomie do 10%  
**Fig. 1.** Block diagram of the process of separating ergot sclerotia (Sp) from rye seeds (Zy), with seed cleaning loss of up to 10%

**Tabela 5.** Skuteczność wydzielania  $\varepsilon_2$  przetrwalników sporyszu i dopuszczalna czystość surowca  $c$  wg przyjętych granic podziałowych procesu rozdzielania

**Table 5.** Separation efficiency  $\varepsilon_2$  of ergot sclerotia and permissible raw material purity  $c$  according to the adopted limits of classification in the separation process

| Granica podziałowa – Limit of classification | $\varepsilon_2$ (%) | $c$ (%) |
|--|---------------------|---------|
| $v = 6,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$        | 6,77                | 99,95   |
| $T = 1,8 \text{ mm}$                         | 19,25               | 99,94   |
| $W = 2,1 \text{ mm}$                         | 22,06               | 99,94   |
| $L = 8,6 \text{ mm}$                         | 68,71               | 99,86   |
| $\gamma_1 = 42^\circ$                        | 18,81               | 99,94   |
| $\gamma_2 = 42^\circ$                        | 13,52               | 99,95   |
| $\gamma_3 = 47^\circ$                        | 14,35               | 99,95   |
| $m = 44,0 \text{ mg}$                        | 34,20               | 99,93   |
| $\rho = 0,760$                               | 41,55               | 99,92   |

#### WNIOSKI

1. Ziarniaki żyta w stosunku do przetrwalników sporyszu mają większą średnią prędkość krytyczną unoszenia, grubość, współczynnik kształtu  $\beta$  i gęstość, a mniejszą – długość, kąty tarcia ślizgowego po stali oraz gumie, masę, współczynnik kształtu  $\alpha$  i objętość. Pomimo występowania statystycznie istotnych różnic między wartościami średnimi analizowanych cech obliczone wskaźniki podzielności mieszanki przyjmują bardzo małe wartości, co świadczy o dużym stopniu pokrywania się rozkładów cech tych składników.

2. Potencjalnie najlepsze efekty wydzielania przetrwalników sporyszu z ziarna żyta uzyskano w wyniku zastosowania jako cech rozdzielczych ich szerokości i długości. Proces taki jest realizowany w trzech etapach, w których do odpadu kierowane są drobne cząstki z przesiewacza sitowego oraz najdłuższe i najkrótsze cząstki z tryjera. Dla uzyskania produktu zgodnego z normą i przy realizowaniu procesu z dopuszczalnymi stratami na poziomie 10%, zawartość przetrwalników sporyszu w surowcu nie powinna przekraczać 0,17%.

3. Cechami fizycznymi najbardziej ze sobą skorelowanymi są dla ziarniaków żyta grubość i masa, a dla przetrwalników sporyszu – długość i masa. Wyprobowane równania regresji charakteryzują się stosunkowo wysokim procentem wyjaśnionej zmienności, przez co z powodzeniem można je stosować przy planowaniu procesów rozdzielczych.

## PIŚMIENNICTWO

- Donev A., Cisse I., Sachs D., Variano E.A., Stillinger F.H., Connelly R., Torquato S., Chaikin P.M., 2004. Improving the density of Jammed Disordered Packings using Elipsoids. *Science*, 303, 990-993.
- Gilles K.A., Sibbit L.D. Kiesling R.L. 1972. Ergot: a recurring problem of grasses and small grains. *Farm Research*, 29(5), 12-14.
- Greń J., 1984. *Statystyka matematyczna. Modele i zadania*. PWN, Warszawa, ISBN 83-01-03699-0.
- Grochowicz J., 1994. *Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion*. Wyd. AR, Lublin, ISBN 83-901612-9-X.
- Hebda T., Micek P., 2007. Cechy geometryczne wybranych odmian zbóż. *Inżynieria Rolnicza*, 5(93), 187-193.
- Kaliniewicz Z., Trojanowski A., 2011. Analiza zmienności i korelacji wybranych cech fizycznych nasion olszy czarnej. *Inżynieria Rolnicza*, 8(133), 167-172.
- Matras J., Szot B., 2009. Wstępna ocena właściwości fizycznych i składu chemicznego ziarna żyta *Secale montanum*. *Acta Agrophysica*, 13(3), 753-759.
- Migdał W., 2010. Od zatruc pokarmowych do bezpiecznej żywności. *Przegląd Hodowlany*, 2, 21-27.
- Ożarówski A., 1982. *Ziołolecznictwo. Poradnik dla lekarzy*. Wyd. PZWL, Warszawa, ISBN 83-200-0640-6.
- PN-R-74102:1996. Ziarno zbóż – żyto.
- Podstawka-Chmielewska E., Kurus J., 2007. Wpływ różnych sposobów pielęgnowania jednorocznego ugoru na plonowanie żyta. *Acta Agrophysica*, 10(3), 659-666.
- Prończuk M., 2005. Choroby traw w uprawie na nasiona. *Agro Serwis. Dod. Spec. – Trawy i rośliny motylkowe. Wrzesień*, 76-80.
- Rawa T., Senczyszyn M., 1998. Analiza metod określania podzielności mieszanin ziarnistych w zagadnieniach czyszczenia nasion. *Acta Acad. Agricult. Techn. Olszt., Aedif. Mech.*, 18, 41-53.
- Słownik botaniczny. 1996. Wyd. Wiedza Powszechna, ISBN 83-214-0140-6.
- Zdybel A., Gawłowski S., Laskowski J., 2009. Wpływ wilgotności na wybrane właściwości fizyczne ziarna żyta. *Acta Agrophysica*, 14(1), 243-255.
- Zhukovsky A. 2006. Choroby pszenżyta ozimego w Białorusi. *Postępy w Ochronie Roślin*, 46 (2), 719-722.

## SEPARATION OF ERGOT SCLEROTIA FROM THRESHED RYE GRAIN

*Krzysztof Jadwisieńczyk, Zdzisław Kaliniewicz, Katarzyna Zalewska*

Department of Heavy Duty Machines and Research Methodology,  
Faculty of Technical Sciences, University of Warmia and Mazury in Olsztyn  
ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn  
e-mail: krzychj@uwm.edu.pl

**Abstract.** The objective of this study was to characterise selected physical attributes of rye seeds and ergot sclerotia and to determine the parameters of their separation process. The experimental material comprised rye grain cv. Dańkowskie Złote contaminated with excessive quantities of ergot sclerotia (approx. 0.2% of raw material mass). Critical transport velocity, basic dimensions (thickness, width and length), angle of sliding friction (on steel, canvas and rubber), weight, shape

factors, cross-sectional area, volume and density of rye seeds and ergot sclerotia were determined. The analysed attributes were compared by single classification analysis of variance, correlation analysis and stepwise regression with elimination of independent variables. The separation process was designed based on indicators of mixture separation efficiency, material purity standards and seed cleaning loss. In comparison with ergot sclerotia, rye seeds are characterised by higher average critical transport velocity, greater thickness, shape factor  $\beta$  and density. Their length, angle of sliding friction on steel and rubber, weight, shape factor  $\alpha$  and volume are smaller than the corresponding parameters in ergot sclerotia. Despite significant differences between the average values of the analysed traits, the calculated indicators of mixture separation efficiency were very low, indicating a considerable overlap between the distribution patterns of the examined attributes. The potentially highest separation efficiency was achieved when width and length were used as separation parameters. The separation process involved three stages in which fine particles from the mesh sieve as well as the longest and shortest particles from the grader were discarded. In products that meet standard requirements and in processes where cleaning losses do not exceed 10%, the content of ergot sclerotia in raw material should not exceed 0.17%.

**Key words:** rye seeds, ergot sclerotia, physical attributes, correlations, separation