

ZASTOSOWANIE WIELOZMIENNEJ ANALIZY WARIANCJI DO BADANIA USZKODZEŃ ZIARNA POWSTAŁYCH PRZY OMŁOCIE PSZENICY W OŚMIOBĘBNOWYM ZESPOLE MŁÓCĄCO- -WYDZIELAJĄCYM

Andrzej Kornacki

Akademia Rolnicza w Lublinie

Streszczenie. W pracy analizowano mechaniczne uszkodzenia ziarna (makro i mikro) powstające w procesie omłotu i separacji ziarna w kombajnie zbożowym. Do analizy wykorzystano wyniki eksperymentu przeprowadzonego na stanowisku z ośmiobębnowym zespołem młócaço-wydzielającym. Ponieważ makro- i mikrouszkodzenia są silnie od siebie zależne, stąd oddzielne ich badanie nie daje pełnego obrazu sytuacji. Właściwym narzędziem do opisu cech zależnych jest wielozmienna analiza wariancji (MANOVA). W pracy przyjęto dwuzmienny model czterokrotnej klasyfikacji krzyżowej z interakcją dla opisu makro- i mikrouszkodzeń ziarna. Ponadto podano jawne postaci dla wybranych macierzy blokowych odpowiadających poszczególnym efektom oraz wybrane operatory rzutowe. Na koniec przedstawiono analizę wariancji oraz wynikające z niej wnioski praktyczne.

Słowa kluczowe: omłot, separacja ziarna, makrouszkodzenia, mikrouszkodzenia, wielozmienna analiza wariancji, MANOVA, czterokrotna klasyfikacja krzyżowa

WSTĘP

Kombajny zbożowe są powszechnie stosowane do zbioru zbóż i innych roślin uprawnych. Coraz częściej stosuje się w nich wielobębnowe zespoły młócaço-wydzielające. Przebieg procesu omłotu i separacji ziarna w tych zespołach zależy głównie od takich parametrów eksploatacyjnych, jak: prędkość kątowna bębnow wydzielających, przepustowość, wielkość szczeliny i wilgotność ziarna [Dąbkowski i Drozd 1988, Miłośz 1993]. Efekty działania zespołu młócacego kombajnu zbożowego dają się mierzyć trzema podstawowymi wskaźnikami. Są to: stopień separacji ziarna przez klepisko

Adres do korespondencji – Corresponding Author: Andrzej Kornacki, Katedra Zastosowań Matematyki Akademii Rolniczej w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, e-mail: akornac@ursus.ar.lublin.pl

i straty niedomłotu, zużycie energii na omłot i stopień uszkodzenia ziarna. [Dreszer 1991, Kęska 1992]. Ziarno przesuwającej się masy zbożowej w szczelinie roboczej poddane jest różnym obciążeniom quasi-statycznym i dynamicznym. Obciążenia te, oprócz pozytywnych skutków, jakim jest m.in. oddzielenie ziarna od kłosa, powodują także skutki negatywne. Głównym negatywnym skutkiem obciążeń są mechaniczne uszkodzenia. Obniżają one wartość biologiczną ziarna [Gieroba i Dreszer 1986, Gieroba i in. 1988]. Wielkość uszkodzeń ma szczególne znaczenie przy zbiorze nasion przeznaczonych na materiał siewny.

W praktyce, przy omłocie i separacji ziarna powstają jednocześnie makrouszkodzenia i mikrouszkodzenia. Dotychczas autorzy analizowali wpływ parametrów eksploatacyjnych osobno na makrouszkodzenia i osobno na mikrouszkodzenia. Nie jest to postępowanie właściwe. Obydwa rodzaje uszkodzeń są między sobą silnie zależne [Złobecki 1998]. Aby uwzględnić korelacje uszkodzeń należy przeprowadzić wielozmienną analizę wariancji. Warto podkreślić, że wnioski uzyskane na drodze jednej wielowymiarowej (p-wymiarowej) analizy wariancji nie dają się sprowadzić do wyników uzyskanych z wielu (p) jednowymiarowych analiz wariancyjnych. Może się nawet zdarzyć, że cechy badane osobno nie wykazują żadnej istotności i stąd są najczęściej ignorowane w tradycyjnej jednozmienną analizie wariancji. W ich wielowymiarowym połączeniu wykazują jednak bardzo dużą moc informacyjną [Tadeusiewicz i in. 1993].

Celem niniejszej pracy jest zastosowanie wielozmiennej analizy wariancji do badania uszkodzeń ziarna powstałych przy omłocie pszenicy w ośmiobębnowym zespole młócająco-wydzielającym przy różnych poziomach przepustowości, wielkości szczeliny, prędkości kątowej bębnowy wydzielających i wilgotności ziarna.

METODY

Ze względu na duże zainteresowanie konstruktorów i naukowców [Ford New Holland 1991, Roszkowski 1998, Miłosz 2001] wielobębnowymi zespołami młócająco-wydzielającymi, w Katedrze Maszynoznawstwa Rolniczego Akademii Rolniczej w Lublinie skonstruowano specjalne stanowisko badawcze. Na stanowisku tym w latach 1989–1990 badano proces omłotu pszenicy odmiany Grana w ośmiobębnowym zespole młócająco-wydzielającym [Dreszer 1991].

Układ podawania masy zbożowej składał się z taśmowego przenośnika poziomego i pochylego przenośnika łańcuchowo-listwowego. Dzięki zastosowaniu bezstopniowej przekładni łańcuchowo-klinowej możliwa była płynna zmiana prędkości liniowej (od 0,8 do 1,6 m·s⁻¹) przenośnika poziomego. Pozwoliło to na osiągnięcie różnych zakresów przepustowości. W eksperymencie zastosowano następujące poziomy przepustowości: 2,5; 4,0; 5,5; 7,0 kg·s⁻¹. Przenośnik pochyle był typową konstrukcją stosowaną w kombajnach konstrukcji krajowej.

W eksperymencie zastosowano tradycyjny cepowy zespół młócający kombajnu zbożowego „Bizon”. Szerokość młocarni wynosiła 1,0 m, a średnica bębna młócającego 0,6 m. Ze względów konstrukcyjnych zredukowano kąt opasania bębna przez klepisko do 95°. Prędkość kątowa bębna młócającego była stała i wynosiła 96,6 rad·s⁻¹. Istniała możliwość regulacji szczeliny omłotowej w zakresie 15–32 mm na wlocie i 9–20 mm na wylocie.

Zespół wydzielający składał się z ośmiu sekcji. Każdą sekcję tworzył bęben z listwami wydzielającymi oraz zmodyfikowane klepisko o stałej podziałce listew i prętów. W eksperymencie zastosowano trzy wielkości szczeliny roboczej: 10; 25; 40 mm. Przy każdej ze szczelin stosowano trzy prędkości obrotowe: 53; 78; 103 $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$. Pod każdą sekcją wydzielającą umieszczono kanały wychwytyjące wydzielone ziarno. Badania prowadzone były dla trzech poziomów wilgotności względnej ziarna: 17,63%; 15,71%; 13,69%.

W eksperymencie dokonano pomiarów wielkości makro- i mikrouszkodzeń ziarna, przyjmując, że makrouszkodzenia to uszkodzenia dostrzegalne gołym okiem. W celu określenia wielkości mikrouszkodzeń pobierano próby 100 ziaren w trzech powtórzeniach. Następnie poddawano je kąpieli w 1% płynie Lugola. Ziarna uszkodzone barwiły się na brunatno. Po zliczeniu uszkodzeń wyniki podano w procentach.

Eksperymentator interesuje wpływ parametrów eksploatacyjnych: przepustowości, wielkości szczeliny roboczej, prędkości kątovej bębnow wydzielających oraz wilgotności ziarna na wielkość uszkodzeń. Do oceny tego wpływu zastosowano wielozmianną analizę wariancji. Jest to technika statystyki matematycznej pozwalająca ocenić istotność wpływu rozważanych w eksperymencie czynników na kilka jednocześnie mierzonych cech [Morrison 1990, Srivastava 2002]. Ponadto w analizie tej można badać interakcje dowolnego rzędu.

Model obserwacji, dla których stosujemy wielozmianną analizę wariancji, jest postaci:

$$U = XB + E \quad (1)$$

gdzie U jest $n \times p$ – macierzą n obserwacji p cech, X $n \times q$ – macierzą planu eksperymentu rzędu f , B $q \times p$ – macierzą parametrów, zaś E – macierzą błędów. Ogólna hipoteza liniowa ma w przypadku wielowymiarowym kształt:

$$H_0 : CBM = 0 \quad (2)$$

a hipoteza alternatywna

$$H_1 : CBM \neq 0 \quad (3)$$

gdzie macierz C $g \times q$ ma rząd g a M $p \times u$ rząd u .

Do weryfikacji hipotezy (2) stosuje się najczęściej test Λ Wilksa [Morrison 1990] Statystyka testowa ma postać:

$$\Lambda = \frac{|E|}{|H + E|} \quad (4)$$

gdzie H i E oznaczają macierze sum kwadratów i iloczynów odpowiednio dla hipotezy i dla błędu, zaś znak $|M|$ określa wyznacznik macierzy M . W niniejszej pracy korzystamy z testu Rao. Polega on na wyliczeniu statystyki Wilksa ze wzoru (4) i przekształceniu jej w funkcję testową postaci:

$$F = \frac{m' s' - 2l'}{gu} \cdot \frac{1 - \Lambda^{1/s'}}{\Lambda^{1/s'}}, \quad (5)$$

gdzie:

$$\begin{cases} m' = n - f - \frac{u - g + 1}{2} \\ s' = \sqrt{\frac{g^2 u^2 - 4}{g^2 + u^2 - 5}} \\ l' = \frac{gu - 2}{4} \end{cases} \quad (6)$$

Przy prawdziwości hipotezy (2) funkcja (5) ma w przybliżeniu rozkład F z gu i $(m's' - 2l')$ stopniami swobody. Zatem hipotezę odrzucimy na poziomie α tylko wtedy gdy wartość F przekroczy 100α -procentową wartość graniczną z odpowiedniego rozkładu F.

MODEL CZTEROKROTNEJ KLASYFIKACJI KRZYŻOWEJ

Do badania wpływu parametrów eksploatacyjnych na wielkość makro- i mikrouszkodzeń ziarna stosujemy dwuzmienny model czterokrotnej klasyfikacji krzyżowej. W naszym przypadku: czynnikiem A jest prędkość kątowna bębnowy wydzielających ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$), czynnikiem B – wielkość szczeliny roboczej (mm), czynnikiem C – przepustowość ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$) i czynnikiem D – wilgotność ziarna (%). Rolę cech odgrywają makrouszkodzenia i mikrouszkodzenia ziarna. Zastosowany model ma postać:

$$\begin{cases} y_{ijklmh} = \mu_h + \alpha_{ih} + \beta_{jh} + (\alpha\beta)_{ijh} + \chi_{kh} + (\alpha\chi)_{ikh} + (\beta\chi)_{jkh} + (\alpha\beta\chi)_{ijkh} + \delta_l + (\alpha\delta)_{ilh} \\ \quad + (\beta\delta)_{jlh} + (\alpha\beta\delta)_{ijlh} + (\chi\delta)_{klh} + (\alpha\chi\delta)_{iklh} + (\beta\chi\delta)_{jklh} + (\alpha\beta\chi\delta)_{ijklh} + e_{ijklmh} \end{cases} \quad (7)$$

W modelu tym występuje aż 16 (2^4) efektów: średnia μ , 4 efekty główne czynników, 6 efektów interakcyjnych 2. rzędu, 4 efekty interakcyjne 3. rzędu i 1 efekt interakcyjny 4. rzędu. Ze względu na dużą liczbę efektów opiszemy tylko kilka wybranych, reszta oznaczeń ma analogiczny sens. I tak: y_{ijklmh} oznacza obserwację m -tej replikacji h -tego uszkodzenia (makro lub mikro) dla i -tej prędkości kątownej bębnowy wydzielających, j -tej szczeliny, k -tej przepustowości i l -tej wilgotności ziarna; gdzie $h = 1, 2, \dots, p$; $i = 1, 2, \dots, a$; $j = 1, 2, \dots, b$; $k = 1, 2, \dots, c$; $l = 1, 2, \dots, d$; $m = 1, 2, \dots, r$. Ponadto μ_h oznacza średnią h -tego uszkodzenia, α_{ih} – efekt wpływu i -tej prędkości kątownej na h -te uszkodzenie, δ_{lh} – efekt wpływu l -tej wilgotności ziarna na h -te uszkodzenie, $(\alpha\beta)_{ijh}$ – efekt interakcyjny wpływu i -tej prędkości kątownej z j -tą szczeliną na h -te uszkodzenie, $(\beta\chi\delta)_{jklh}$ – efekt interakcyjny wpływu j -tej szczeliny z k -tą przepustowością i l -tą wilgotnością na h -te uszkodzenie zaś $(\alpha\beta\chi\delta)_{ijklh}$ – efekt interakcyjny wpływu i -tej prędkości kątownej z j -tą szczeliną z, k -tą przepustowością i l -tą wilgotnością na h -te uszkodzenie.

W zapisie macierzowym model (7) przyjmuje postać

$$\begin{cases} U = X_{i\mu} + X_A \alpha + X_B \beta + X_{AB} \alpha\beta + X_C \chi + X_{AC} \alpha\chi + X_{BC} \beta\chi + X_{ABC} \alpha\beta\chi + X_D \delta + X_{AD} \alpha\delta \\ \quad + X_{BD} \beta\delta + X_{ABD} \alpha\beta\delta + X_{CD} \chi\delta + X_{ACD} \alpha\chi\delta + X_{BCD} \beta\chi\delta + X_{ABCD} \alpha\beta\chi\delta + E \end{cases} \quad (8)$$

Macierze blokowe tworzące macierz układu X można łatwo wyznaczyć w postaci iloczynu Kronekerowskiego macierzy jednostkowych I i wektorów jedynkowych J odpowiednich rozmiarów [Oktaba 1973]. Przykładowo mamy:

$$\begin{cases} X_I = J_d \otimes J_c \otimes J_b \otimes J_a \otimes J_r = J_{dcbar} = J_n \\ X_A = J_d \otimes J_c \otimes J_b \otimes I_a \otimes J_r = J_{dcb} \otimes I_a \otimes J_r \\ X_D = I_d \otimes J_c \otimes J_b \otimes J_a \otimes J_r = I_d \otimes J_{cbar} \\ X_{AB} = J_d \otimes J_c \otimes I_b \otimes I_a \otimes J_r = J_{dc} \otimes I_{ba} \otimes J_r \\ X_{ABC} = J_d \otimes I_c \otimes I_b \otimes I_a \otimes J_r = J_d \otimes I_{cba} \otimes J_r \\ X_{ABCD} = I_d \otimes I_c \otimes I_b \otimes I_a \otimes J_r = I_{dcba} \otimes J_r \end{cases} \quad (9)$$

W jednowymiarowej analizie wariancji funkcje testowe do weryfikacji hipotez o istotności efektów głównych i interakcyjnych bazują na formach kwadratowych wektora obserwacji: $y'Py$ [Mikos 1973]. Macierze P tych form są operatorami rzutowania ortogonalnego na odpowiednie podprzestrzenie przestrzeni obserwacji. W wielowymiarowym przypadku zastępujemy wektor obserwacji y w odpowiedniej formie kwadratowej $y'Py$ przez macierz obserwacji U . Postać operatora rzutowania P nie ulega przy tym zmianie. Przykładowo mamy [Mikos 1973]:

$$\begin{cases} P_A = P[X_A] - P[J_n] \\ P_B = P[X_B] - P[J_n] \\ P_{AB} = P[X_{AB}] - P[X_A] - P[X_B] + P[J_n] \end{cases} \quad (10)$$

gdzie $P[X]$ oznacza operator rzutu na przestrzeń rozpiętą na kolumnach macierzy X .

Mając postaci macierzy P łatwo otrzymujemy odpowiednie macierze sum kwadratów i iloczynów dla hipotez jako iloczynu macierzy, np.:

$$\begin{cases} H_A = UP_A U' \\ H_{AB} = UP_{AB} U \end{cases} \quad (11)$$

Praktyka interesuje wpływ parametrów eksploatacyjnych na makro- i mikrouszkodzenia. W tym celu stawia i testuje odpowiednie hipotezy. Przykładowo, hipoteza zeroowa, że prędkość kątowna nie ma wpływu na makro- i mikrouszkodzenia jest postaci:

$$H_{0A} : \begin{cases} \alpha_{11} = \alpha_{21} = \alpha_{31} \\ \alpha_{12} = \alpha_{22} = \alpha_{32} \end{cases} \quad (12)$$

a alternatywna (że prędkość kątowna ma istotny wpływ na makro- i mikrouszkodzenia) ma kształt:

$$H_{1A} : \begin{cases} \forall \alpha_{s1} = \alpha_{t1} \\ \text{s,t} \\ \forall \alpha_{v2} = \alpha_{w2} \\ \text{v,w} \end{cases} \quad (13)$$

W zapisie macierzowym kładąc $M = I$ mamy:

$$H_{0A} : CB = 0, \text{ gdzie } C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \dots & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \dots & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} \\ \varepsilon_{13} & \alpha_{32} \\ \beta_{11} & \beta_{12} \\ \vdots & \vdots \\ (\alpha\beta\chi\delta)_{3423} & (\alpha\beta\chi\delta)_{3423} \\ \mu_1 & \mu_2 \end{bmatrix} \quad (14)$$

W podobny sposób można macierzowo zapisać wszystkie inne hipotezy o wpływie pozostałych czynników i ich interakcjach na makro- i mikrouszkodzenia.

WYNIKI I DYSKUSJA

Przedstawioną w poprzednich rozdziałach teorię oparto na wynikach badań, które uzyskano podczas omłotu pszenicy w ośmiobębnowym zespole młócaço-wydzielającym [Dreszer 1991]. W niniejszej pracy przedstawiono końcową dwuzmienną analizę

Tabela 1. Wielozmienna analiza wariancji makro- i mikrouszkodzeń ziarna pszenicy w ośmiobębnowym zespole młócaço-wydzielającym

Table 1. Multivariate analysis of variance of macro and microdamage of grain in the eight-drum threshing device

Efekt Effect	Źródło zmienności – Source of variation				istotność significance
	funkcja testowa Rao F^0 test function Rao F^0	stopnie swobody 1 degrees of freedom 1	stopnie swobody 2 degrees of freedom 2	$P(F > F^0)$	
A	797,989	4	286	0,000000	*
B	455,160	2	143	0,000000	*
C	1376,369	6	286	0,000000	*
D	848,44	4	286	0,000000	*
AB	5,286	4	286	0,000403	*
AC	42,340	12	286	0,000000	*
BC	9,207	6	286	0,000000	*
AD	25,428	8	286	0,000000	*
BD	0,260	4	286	0,903182	
CD	40,102	12	286	0,000000	*
ABC	3,782	12	286	0,000000	*
ABD	6,497	8	286	0,000000	*
ACD	10,589	24	286	0,000000	*
BCD	5,192	12	286	0,000000	*
ABCD	4,456	24	286	0,000000	*

A – prędkość kątowna – angular speed,
 B – szczelina robocza – working clearance,
 C – przepustowość – capacity,
 D – wilgotność ziarna – grain moisture content
 * oznacza istotność danego efektu.

wariancji makro- i mikrouszkodzeń pszenicy. Do testowania istotności poszczególnych efektów zastosowano statystykę Rao postaci (5). Aby zagwarantować spełnienie założeń wymaganych w analizie wariancji do wyników mikrouszkodzeń zastosowano transformację $\text{arc sin } \sqrt{x}$ stabilizującą wariancję.

Z tabeli wynika, że wszystkie rozpatrywane czynniki mają istotny wpływ na makro- i mikrouszkodzenia ziarna. Potwierdzają to liczby w przedostatniej kolumnie tabeli 1. Jeśli czynnik istotnie wpływa na uszkodzenia, to odpowiadające mu prawdopodobieństwo zawarte w tej kolumnie jest mniejsze od założonego poziomu istotności $\alpha = 0,01$. W rozpatrywanym eksperymencie prawdopodobieństwa te są dla wszystkich czynników mniejsze od 10^{-6} .

Rozważane zmienne w różnym stopniu wpływają na wielkość makro- i mikrouszkodzeń ziarna. Świadczą o tym wartości funkcji testowej Rao. Dla prędkości kątowej, wilgotności ziarna i przepustowości wartości funkcji testowej Rao mieszczą się w zakresie od 800 do 1380, a dla szczeliny – wartość funkcji testowej jest zdecydowanie najmniejsza i wynosi ok. 450.

Dalsze szczegółowe wnioskowanie należy przeprowadzić za pomocą wielokrotnych przedziałów ufności. Przedziały te pokażą, o ile różnią się uszkodzenia przy różnych poziomach czynników. Będzie to tematem dalszych prac.

WNIOSKI

1. Analiza wykazała, że wszystkie rozważane w eksperymencie czynniki: prędkość kątowa bębnowy wydzielających, wielkość szczeliny roboczej, wilgotność ziarna i przepustowość 8-bębnowego zespołu młócającego mają istotny wpływ na powstające przy omłocie makro- i mikrouszkodzenia ziarna pszenicy.
2. Na uszkodzenia ziarna powstałe w procesie omłotu i separacji, w większym stopniu wpływa przepustowość, wilgotność ziarna i prędkość kątowa, w dużo mniejszym – wielkość szczeliny.
3. Nie jest statystycznie istotna interakcja pomiędzy wielkością szczeliny i wilgotnością ziarna. Oznacza to, że można wnioskować o wpływie tych czynników na wielkość uszkodzeń w sposób niezależny.
4. Interakcje wszystkich pozostałych czynników są istotne.

PIŚMIENNICTWO

- Dąbkowski W., Drozd K., 1988. Einige Energiebeziehungen bei einem Mähdrescher mit grossem Durchsatz. *Agrartechnik* Jg 38, 8, 379–380.
- Dreszer K. A., 1991. Wydzielanie ziarna w wielobębnowych zespołach młócająco-wydzielających. Rozprawa hab. AR Lublin.
- Gieroba J., Dreszer K. A., 1986. Problemy strat i uszkodzeń ziarna podczas kombajnowego zbioru. *Problemy Agrofizyki* 50, Wyd PAN Ossolineum. Warszawa-Wrocław.
- Gieroba J., Dreszer K., Nowak J., 1988. Wpływ wybranych czynników na uszkodzenia i biologiczną wartość ziarna zbieranego kombajnami. *Post. Nauk Roln.* 4, 31–50.
- Ford New Holland Mähdrescher TX 30., 1991. *DLZ Landtech. Z.*, Jg 42, 4, 64–75.

- Kęska W., 1992. Proces omlotu zbóż. Polit. Pozn.. Rozprawy 262.
- Mikos H., 1973. Operatory rzutowe w analizie wariancji. III Coll. Metodol. z Agrobiom., 78–143.
- Miłosz T., 1993. Wpływ wybranych czynników zasilania na jakość procesu omlotu. Probl. Inż. Roln. 1, 9–16.
- Miłosz T. 2001. Tendencje rozwojowe wybranych zespołów kombajnów zbożowych. Mat. Symp.: Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roślinnej. IBMER Warszawa, 157–162,
- Morrison D. F., 1990. Wielowymiarowa analiza statystyczna. PWN, Warszawa.
- Oktaba W., 1973. Iloczyn kroneckerowski macierzy w analizie wariancji dla zrównoważonych modeli matematycznych. III Coll. Metodol. z Agrobiom., 6–44.
- Roszkowski A., 1998. Nowe rozwiązania w technologiach i technice zbioru zbóż. Inż. Roln. 2 (3), 163–174.
- Srivastava M. S., 2002. Methods of Multivariate Statistics. New York.
- Tadeusiewicz R., Izvorski A., Majewski J., 1993. Biometria. Wyd. AGH Kraków.
- Złobecki A., 1998. Jakościowa analiza uszkodzeń ziarna powstających w czasie zbioru kombajnem. Inż. Roln. 5 (6), 69–78.

PROBLEMS OF DAMAGE OF GRAIN IN EIGHT-DRUM THRESHING DEVICE

Abstract. This paper deals with the mechanical macro and microdamage arising in the process of threshing and separating of grain in combine harvester. In our study, data from experiment conducted on a stand with eight-drum threshing device were used. Because the macro and microdamage are evidently interdependent, so their separate investigation doesn't give full image of the situation. Adequate tool of description of dependent features is the multivariate analysis of variance. (MANOVA). In this paper the two-variate model of the four way cross classification with interaction is used. Moreover we give the explicit form for some block matrices relating the particular effects and some projection operators. At the end we present multivariate analysis of variance and conclusions.

Keywords: threshing and separating of grain, macrodamage, microdamage, multivariate analysis of variance, four way cross classification

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 14.03.2004