

## ZALEŻNOŚĆ STRAT JAKOŚCIOWYCH ZIARNA PSZENICY OD WARUNKÓW ZBIORU KOMBAJNEM

*Andrzej Złobecki*

Katedra Podstaw Budowy Maszyn  
Akademia Rolnicza w Krakowie

**Synopsis:** W pracy określono wpływ stanu zboża oraz parametrów regulacyjnych kombajnu na wielkość strat jakościowych ziarna pszenicy w czasie zbioru. Przeprowadzono analizę regresji wielokrotnej, w wyniku której uzyskano formuły empiryczne które mogą stanowić podstawę do optymalizacji parametrów regulacyjnych kombajnu.

**Słowa kluczowe:** kombajn zbożowy, zbiór ziarna, pszenica, regulacja kombajnu.

### Wstęp

W kombajnie zbożowym traktowanym jako skomplikowany system empiryczny przebiega wiele złożonych i stochastycznych procesów podczas zbioru. Obok szeregu niewątpliwych korzyści jakie przynosi wprowadzenie kombajnów do zbioru zbóż wpływ elementów roboczych kombajnu na pozyskiwane ziarno. Prowadzi to w konsekwencji do strat.

Jeżeli chodzi o straty jakościowe to mogą być one przyczyną pogorszenia się jakości ziarna [Gieroba, Dreszer 1987, Miłosz 1887, 1993]. Straty pośrednie niosą ze sobą i takie niebezpieczeństwo, że obniżając siłę i energię kiełkowania przyczyniają się do obniżenia plonów co jest szczególnie istotne w przypadku zbioru ziarna kwalifikowanego z przeznaczeniem na siew [Stankowski 1995]. Szeroko prowadzone eksperymenty dowiodły, że wielkość tych strat nie jest bez znaczenia i wielu autorów podaje, że w niekorzystnych warunkach zbioru straty ilościowe mogą dochodzić do pięciu procent zbieranej masy ziarna, a łączne straty

ilościowe i jakościowe nawet do 20 % [Kolowca i inni. 1988]. Przeprowadzone badania wykazały również, że przy krańcowo niekorzystnych warunkach zbioru ilość uszkodzonych ziarniaków w zbieranym ziarnie może dochodzić nawet do 80% (makro- i mikrouszkodzenia) [Ślipek, Złobecki, 1993,1994].

W celu ograniczenia strat spowodowanych uszkodzeniami prowadzone są liczne badania mające na celu między innymi przedstawienie hodowcom zaleceń dotyczących odpowiedniego doboru właściwości roślin ze względu na ich przydatność do zmechanizowanego zbioru. Prowadzone są również prace, nad doбором optymalnego, ze względu na wielkość strat, terminu, takiego w którym rośliny w trakcie dojrzewania i przesychnania w łanie osiągają właściwe dla prowadzenia zbioru właściwości fizyczne [Ślipek,1987]. Znaczna ilość prac dotyczących tego tematu wskazuje, że problem wpływu warunków zbioru na wielkość strat jakościowych został w dużym stopniu poznany, należy jednak zauważyć, że większość publikacji opisuje badania prowadzone na skonstruowanych specjalnie w tym celu stanowiskach laboratoryjnych, które jedynie w pewnym stopniu odzwierciedlają warunki rzeczywiste.

### **Cel i zakres pracy**

Celem badań było ustalenie wpływu parametrów regulacyjnych kombajnu oraz wybranych właściwości fizycznych zbieranej masy na straty jakościowe ziarna w postaci obniżenia energii i zdolności kiełkowania wywołanego uszkodzeniami w szerokim zakresie zmienności badanych czynników. Należało uzyskać odpowiedź na pytanie jakie jest wzajemne oddziaływanie między sobą poszczególnych czynników oraz ustalić funkcyjne zależności zmian strat jakościowych od zmieniających się warunków zbioru. Badania przeprowadzono w cyklu trzyletnim na czterech odmianach pszenicy [Almari, Gama, Kamila, Sigma] uprawianych na kwalifikowanych plantacjach nasiennych w zakresie wilgotności zbieranego ziarna 14-19%.

### **Metody badań**

Zmiany intensywności omlotu poprzez regulację:

- wielkości zasilania - poprzez zmianę prędkości jazdy: 0,5; 0,7; 0,9 [m/s]
- prędkości obrotowa bębna młócacego: 900; 950; 1000; 1050; 1100 [obr/min]
- wielkość szczeliny roboczej: 3; 5; 8 [mm]

Dla każdej odmiany zostały dokonane pomiary biometryczne oraz oszacowany plon oraz ważniejsze właściwości fizyczne i anatomiczno-morfologiczne ziarna. Zestawienie uzyskanych wyników przedstawia tabela 1.

### Metoda oceny wartości biologicznej ziarna

Kielkowanie ziarna zostało przeprowadzone zgodnie z Polską Normą. I tak, energia kielkowania stanowiła miernik strat jakościowych ziarna w porównaniu z próbą kontrolną co oznaczało, że ziarniaki na skutek naruszenia struktury wykazywały opóźnione kielkowanie. Natomiast spadek zdolności kielkowania określał straty ilościowe dla ziarna siewnego co oznacza, że ziarniaki z większymi uszkodzeniami (makrouszkodzeniami) wysiane, nie dałyby potencjalnie spodziewanego plonu.

### Metoda obliczeń

Tak więc w przeprowadzonym doświadczeniu na siłę i energię kielkowania, a co za tym idzie o ilości uszkodzeń decydowało sześć czynników. Dla określenia istotności wpływu tych czynników przeprowadzono test analizy wariancji w klasyfikacji sześciokrotnej z powtórzeniami. Istotności różnic pomiędzy średnimi określono testem Duncana. Przeprowadzono również analizę regresji wielokrotnej.

Tabela 1

Wartości średnie ważniejszych cech wzrostu oraz wybrane właściwości ziarna badanych odmian

Table 1

Mean values of selected grain traits in tested wheat cultivars

Lp.	Odmiana	Plon [t/ha]	Masa 1000 nasion [g]	Siła wiązania ziarna z kłosem [N]	Zawartość okrywy [%]	Zawartość białka [%]
1.	Almari	5,17	44,30	2,50	9,07	9,50
2.	Gama	4,86	43,12	2,19	11,09	14,44
3.	Kamila	4,98	45,73	2,70	10,73	10,46
4.	Sigma	4,64	46,25	2,09	9,67	11,08

## Wyniki

Porównując wyniki energii i zdolności kiełkowania ziarna zbieranego kombajnem z próbą kontrolną można było stwierdzić, że w każdym przypadku różniły się one od wyników uzyskanych dla tej próby. Z analizy wariancji wynikało, że spadek energii kiełkowania spowodowany uszkodzeniami nastąpił przez oddziaływanie trzech zmiennych. Były to: wielkość zasilania kombajnu (zmiana prędkości jazdy), obroty bębna młócającego i wielkość szczeliny roboczej. Dla pozostałych zmiennych wpływ ten okazał się nieistotny. Analiza wariancji wykazała również istotność interakcji między:

- wilgotnością zbieranego ziarna a prędkością jazdy,
- prędkością i obrotami,
- wilgotnością zbieranego ziarna a szczeliną roboczą w zespole młócającym.

Natomiast w interakcjach wyższego rzędu zaznaczył się czynnik odmianowy. Nasuwa to wniosek, że w dalszych etapach badań przy optymalizacji parametrów regulacyjnych przy zbiorze materiału siewnego powinno się postępować w następujący sposób: poszukiwać dla każdego poziomu wilgotności ziarna optymalnych nastawów prędkości jazdy i szczeliny roboczej oraz każdorazowo dopasowywać obroty bębna do prędkości jazdy. Interakcje te wskazują również na wzajemne oddziaływanie parametrów regulacyjnych w czasie zbioru. Należy zwrócić uwagę na bardzo silną interakcję pomiędzy wielkością zasilania kombajnu a szczeliną w zespole młócającym, co świadczy o konieczności szczególnego zwracania uwagi na ustawienie tego parametru przy każdej zmianie prędkości jazdy. Postępowanie takie mogłoby być zrealizowane m.in. poprzez wprowadzenie automatycznego sterowania do kombajnu. Obliczenia testem Duncana przeprowadzono dla wartości energii kiełkowania względem tych czynników, dla których analiza wariancji wykazała istotność oddziaływania na energię kiełkowania. Na podstawie uzyskanych wyników (tab.2) można stwierdzić, że zmniejszenie prędkości jazdy poniżej 0,9 m/s powodowało istotne obniżenie siły kiełkowania badanego ziarna. Dla parametru "obroty" można wyróżnić przedziały dla których energia kiełkowania przyjmuje podobne wartości (tab.3). W przypadku szczeliny roboczej (tab.4), jej najniższa wartość powodowała istotny spadek energii kiełkowania w porównaniu z pozostałymi.

Analogiczne obliczenia zostały przeprowadzone dla zdolności kiełkowania, to znaczy dla liczby kiełków normalnych po ośmiu dniach kiełkowania. Analiza wariancji wykazała, że na zdolność kiełkowania w istotny sposób oddziałuje wielkość zasilania oraz prędkość obrotowa bębna młócającego. W tym przypadku nieistotny był wpływ cech odmianowych, wilgotności ziarna oraz wielkości szczeliny w zespole młócającym. Pomimo nieistotności wpływu cech odmianowych podobnie jak w przypadku siły kiełkowania istotne były interakcje pomiędzy

cechami odmianowymi, a wielkością zasilania i obrotami bębna młócającego, co prowadzi do podobnych wniosków, jak w przypadku poprzednich wyników, z tym że w tym przypadku wyraźniej zaznaczył się czynnik odmianowy. Na podstawie istotności interakcji wyższego rzędu należy sądzić, że w tak szeroko przeprowadzonym doświadczeniu występuje przewaga wzajemnego oddziaływania przyjętych czynników nad ich samodzielnym oddziaływaniem.

Tabela 2

Wyniki testu Duncana dla energii kiełkowania względem wielkości zasilania

Table 2

Duncan's test results for germination energy as related to combine working speed

Prędkość A [m/s]	0,5	0,7	0,9
Energia kiełkowania	95,58	95,77	96,21
Istotność	_____		

Tabela 3

Wyniki testu Duncana dla energii kiełkowania względem obrotów bębna młócającego

Table 3

Duncan's test results for germination energy as related to threshing drum rotations

Obroty bębna [obr/min]	900	1000	950	1100	1050
Energia kiełkowania	95,09	95,62	95,86	96,30	96,40
Istotność	_____				

Tabela 4

Wyniki testu Duncana dla energii kiełkowania względem szczeliny roboczej w zespole młójącym

Table 4

Duncan's test results for germination energy as related to working gap of threshing unit

Szczelina robocza [mm]	3	5	8
Energia kiełkowania	95,08	95,54	95,62
Istotność	—————		

Tabela 5

Wyniki testu Duncana dla zdolności kiełkowania względem wielkości zasilania

Table 5

Duncan's test results for germination capacity as related to feeding intensity.

Prędkość A [m/s]	0,5	0,7	0,9
Siła kiełkowania	89,40	91,18	92,00
Istotność	—————		

Tabela 6

Wyniki testu Duncana dla zdolności kiełkowania względem obrotów bębna młócacego

Table 6

Duncan's test results for germination capacity as related to threshing drum rotations

Obroty bębna [obr/min]	1100	950	1050	1000	900
Siła kiełkowania	87,9	88,5	88,7	88,8	90,25
Istotność					

Zauważyć tu można następujące prawidłowości:

- przy prędkości jazdy powyżej 0,7 [m/s] istotnie obniża się energia kiełkowania
- wzrost wielkości szczeliny roboczej powyżej 5 [mm] powoduje istotne zwiększenie się energii kiełkowania
- dla niższych wartości zasilania następuje istotne obniżenie zdolności kiełkowania spowodowane uszkodzeniami (tab.5)
- cały obszar wartości obrotów bębna młócacego można podzielić na dwa zachodzące na siebie zakresy. Niższy 900 - 1000 obr/min, o dość wysokiej energii i zdolności kiełkowania oraz wyższy 950 - 1100 obr/min (mniejsza energia i zdolność kiełkowania), w ramach których nie różniła się ona istotnie (tab.3,6).

### Analiza regresji

W celu uzyskania zależności funkcyjnej energii kiełkowania od parametrów regulacyjnych przeprowadzono analizę regresji wielokrotnej. Wyniki tych obliczeń przedstawiają tabele 7 i 8. W tabelach tych zamieszczono wartości współczynników regresji B, wartości standaryzowanych współczynników regresji B, które wchodzi do równania regresji oraz poziomy istotności regresji dla poszczególnych czynników. Można zauważyć, że w przypadku energii kiełkowania wykazała ona zależność liniową od prędkości jazdy  $v$  i szczeliny roboczej. Analiza regresji

wykazała również istotną zależność energii kiełkowania od wilgotności pomimo nie stwierdzenia wpływu wilgotności na energię kiełkowania. W wyniku analizy regresji możemy zatem zapisać formułę empiryczną opisującą zależność strat jakościowych ziarna obowiązującą w przyjętych w doświadczeniu zakresach:

$$y = 0,347 \cdot x_1 + 4,020 \cdot x_2 - 0,0589 \cdot x_3 + 89,7$$

gdzie:

y - energia kiełkowania [%]

$x_1$  - wilgotność [%]

$x_2$  - prędkość jazdy kombajnu [m/s]

$x_3$  - szczelina robocza zespołu młocącego [mm]

Tabela 7

Wyniki analizy regresji dla energii kiełkowania ziarna pobranego ze zbiornika kombajnu w różnych warunkach zbioru

Table 7

Regression analysis results for germination energy of grain sampled from combine container at various harvesting conditions

zmienna	Parametry regresji				
	BETA	Błąd Stand. dla BETA	B	Błąd Stand. dla B	p
ROK	1.00000	.02801	-.00000	.25379	1.00000
ODMIANA	.09657	.02117	.59777	.13106	.05032
WILGOTN.	.12550	.02801	.34740	.07753	.00008*
PRĘDKOŚĆ	.09488	.02117	4.02083	.89731	.00008*
OBROTY	.01873	.02117	.00183	.00207	.37641
SZCZEL.	.01751	.02117	.05899	.07131	.04081*

\* oznacza istotność współczynnika regresji

Jak widać wartość energii kiełkowania jest mocno uzależniona od wielkości zasilania - prędkości jazdy, a w niewielkim stopniu od wielkości szczeliny roboczej zespołu młocącego.

Analiza regresji przeprowadzona dla zdolności kiełkowania (straty ilościowe ziarna siewnego) wykazała istotną korelację liniową dla następujących czynników (tab.8): wilgotność zbieranego ziarna oraz prędkość jazdy i obroty bębna



młócacego kombajnu. Również i w tym przypadku możemy zapisać formułę, która odzwierciedli zależność zdolności kiełkowania od parametrów regulacyjnych kombajnu, a mianowicie:

$$y = 0,316 \cdot x_1 + 2,409 \cdot x_2 - 0,001 \cdot x_3 + 83,9$$

gdzie:

- y - zdolność kiełkowania [%],
- $x_1$  - wilgotność zbieranego ziarna [%],
- $x_2$  - prędkość jazdy kombajnu [m/s],
- $x_3$  - obroty bębna młócacego kombajnu [obr/min].

Również i w tym przypadku formuła ta będzie słuszna w przyjętych w doświadczeniu zakresach czynników.

Tabela 8

Wyniki analizy regresji dla zdolności kiełkowania ziarna pobranego ze zbiornika kombajnu w różnych warunkach zbioru

Table 8

Results of regression analysis for germination capacity of grain sampled from combine container at various harvesting conditions

zmienna	Parametry regresji				
	BETA	Błąd Stand. dla BETA	B	Błąd Stand. dla B	p
ROK	-.13488	.02807	-.71944	.14972	.05480
ODMIANA	.03841	.02807	.06259	.04574	.17134
WILGOTN.	.08696	.02122	.03685	.07732	.00004*
PRĘDKOŚĆ	.09659	.02123	2.40972	.52937	.00006*
OBROTY	-.02659	.02122	-1.00153	.00122	.01017*
SZCZEL.	-.00033	.02112	-.00065	.04207	.98752

\* oznacza istotność współczynnika regresji

Należy zwrócić jednak uwagę, że aproksymacja przy pomocy regresji prostej jest pewnym przybliżeniem i może być wystarczająca jedynie przy jakościowej ocenie przebiegu zmian.

Uzyskane zależności empiryczne mogą jednak stanowić punkt wyjściowy do sformułowania pewnych hipotez wyjaśniających przebieg zmian wartości biologicznej ziarna w zależności od zmieniających się warunków zbioru. I tak:

-wzrost wartości biologicznej ziarna wraz z narastaniem jego wilgotności świadczy o pewnym jego uplastycznieniu wraz z wzrostem zawartej w nim wody

-gwałtowne przyrastanie kielkowania przy zwiększającej się wielkości zasilania można tłumaczyć zjawiskiem spadku intensywności omłotu, a co za tym idzie mniejszą energią jednostkową przy jakiej wymłócone jest ziarno, podobne zjawisko ma miejsce przy zmianach szczeliny roboczej.

### Wnioski

1. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, które z parametrów regulacyjnych oraz jakie cechy ziarna w istotny sposób oddziałują na jakościowe straty w postaci uszkodzeń wyrażone poprzez spadek energii kielkowania ziarna.
2. W przyjętym do doświadczenia wieloczynnikowego zakresie czynników stwierdzono liniowy charakter ich oddziaływania na energię kielkowania.
3. Na podstawie analizy regresji wielokrotnej uzyskano funkcyjny zapis zależności energii kielkowania ziarna od wilgotności, prędkości jazdy i prędkości obrotowej bębna młócacego.

### Literatura

1. Gieroba J., Dreszer K.: Badania wpływu kombajnowego zbioru na wielkość uszkodzeń nasion i ich żywotność. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 1987 z. 351.
2. Kolowca J., Ślipek Z., Złobek A.: Ocena zmian wartości biologicznej ziarna pszenicy spowodowanych uszkodzeniami mechanicznymi. Roczn. Nauk Roln. 1988 T. 78-C-4.
3. Miłosz T.: Niektóre aspekty mechanizacji zbioru zbóż. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 1987, z. 305.
4. Miłosz T.: Efektywność procesu zbioru zbóż kombajnami zbożowymi. Rozprawa habilitacyjna, IBMER, Warszawa 1993.
5. Stankowski S.: Wysiewać sprawdzony materiał siewny. Top Agrar Polska 1/1995
6. Ślipek Z.: Ocena właściwości fizycznych pszenicy dla potrzeb zbioru kombajnowego. Rozprawa habilitacyjna, Zesz. Nauk. AR Kraków, Kraków 1987.

7. Ślipek Z., Złobecki A.: The influence of grain damage on the component of crop productivity. *Int. Agrophysics*, 1994, 8.
8. Ślipek Z., Złobecki A.: Ocena wartości biologicznej ziarna uszkodzonego mechanicznie podczas zbioru kombajnem. *Zesz. Nauk. AR Kraków, Mechanizacja i Energ. Roln. Z. 12*, 1993.

### **Qualitative losses of wheat grain as affected by combine harvesting conditions**

*Andrzej Złobecki*

#### **Summary**

Variations of grain losses at combine harvesting were investigated during 3 seasons on 4 wheat cultivars grown on the farms producing qualified seed grain. Biological value of harvested grain and underthresing grain losses were considered as affected by following natural factors: season of experiment, grain-in-ear bending force, moisture content of harvested grain as well as control parameters of combine harvester operation: working ground speed, threshing drum rotations and working gap of threshing unit.

Variance analysis computation determined the factors affecting grain losses at harvest, while regression analysis enabled quantitative description of grain losses. Applied empirical formulas may be used also to optimize the control parameters of combine operation at harvesting seed grain.