

Zdzisław Kaliniewicz, Tadeusz Rawa  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
Katedra Maszyn Roboczych i Procesów Separacji

## ANALIZA ZWIĄZKÓW MASY I PODSTAWOWYCH WYMIARÓW ZIAREN GRYKI I SEGMENTÓW ŁUSZCZYN RZODKWI ŚWIRZEPY

### Streszczenie

W pracy przedstawiono metodykę i wyniki pomiarów grubości, szerokości i długości oraz masy ziaren gryki i łuszczyń rzodkwi świrzepy. Określono związek korelacyjny i matematyczny między przyjętymi cechami. Uzyskano równania, które można wykorzystać zarówno do budowy matematycznych modeli ziaren gryki i segmentów łuszczyń rzodkwi świrzepy, jak i matematycznych modeli procesów rozdzielczych.

**Słowa kluczowe:** gryka, segmenty łuszczyń rzodkwi świrzepy, wymiary, masa, współzależności cech

### Wykaz oznaczeń

- $a_1, a_2$  – grubość ziarna gryki i segmentu łuszczyń rzodkwi świrzepy, [mm],  
 $b_1, b_2$  – szerokość ziarna gryki i segmentu łuszczyń rzodkwi świrzepy, [mm],  
 $c_1, c_2$  – długość ziarna gryki i segmentu łuszczyń rzodkwi świrzepy, [mm],  
 $d$  – założony błąd szacunku wielkości cechy, [mm] lub [mg],  
 $m_1, m_2$  – masa ziarna gryki i segmentu łuszczyń rzodkwi świrzepy, [mg],  
 $n$  – niezbędna liczba powtórzeń pomiarów,  
 $n_0$  – przyjęta liczba powtórzeń pomiarów,  
 $t_\alpha$  – wartość rozkładu t-Studenta dla współczynnika ufności  $1 - \alpha = 0,95$ ,  
 $\bar{x}, S$  – wartość średnia i odchylenie standardowe, [mm] lub [mg],  
 $x_{min}$  – minimalna wartość cechy, [mm] lub [mg],  
 $x_{max}$  – maksymalna wartość cechy, [mm] lub [mg],  
 $\chi_{obl}^2$  – obliczona wartość statystyki,  
 $\chi_\alpha^2$  – odczytana z tablic wartość statystyki dla poziomu istotności  $\alpha=0,05$ .

## Wstęp

Materiał poomłotowy gryki zawiera niekiedy aż 5% łuszczyń rzodkwi świrzepy, które wśród zanieczyszczeń mogą stanowić nawet 80%. Pomimo różnic w kształcie tych dwóch podstawowych składników mieszaniny – ziarno gryki to trójgraniasty orzeszek, który w przekroju poprzecznym zbliżony jest do trójkąta równobocznego, a segment łuszczyzny rzodkwi świrzepy to część owocu o kształcie zbliżonym do walca lub baryłki – jak dotąd występują duże trudności z ich rozdzieleniem w procesach czyszczenia ziarna gryki.

W stosowanych technologiach czyszczenia gryki mieszanina ziarnista jest rozdzielana najczęściej ze względu na cechy geometryczne, aerodynamiczne, mechaniczne oraz masę właściwą [Kaliniewicz 2000; Rawa 1992; Semczyszyn, Fornal 1990]. Do posortowania materiału i wydzielenia zanieczyszczeń wykorzystywane są zarówno proste (przesiewacze sitowe, sortownice, rozdzielacze pneumatyczne, tryjery), jak i złożone maszyny rozdzielające (wialnie, pneumatyczne stoły sortownicze, separatory wibracyjno-pneumatyczne, czyszczalnie złożone). Ich parametry robocze są dobierane najczęściej intuicyjnie, a kolejność stosowania odpowiedniej maszyny w procesie technologicznym jest ustalana metodą prób i błędów.

Poprawę skuteczności czyszczenia mieszaniny ziaren gryki i łuszczyń rzodkwi świrzepy należy wiązać między innymi z poznaniem cech rozdzielanych składników, z uwzględnieniem ich różnego kształtu. Dla odpowiedniego zaplanowania procesu rozdzielczego konieczna jest także znajomość współzależności między wykorzystywanymi cechami rozdzielczymi, gdyż kolejność stosowania maszyn czyszczących wpływa na uzysk i czystość nasion gatunku podstawowego.

Celem pracy jest określenie związku zarówno między trzema podstawowymi wymiarami (długością, szerokością i grubością), jak i masą dwóch odbiegających od siebie kształtem jednostek nasiennych: ziaren gryki i łuszczyń rzodkwi świrzepy.

## Metodyka

Materiał badawczy stanowiły ziarna gryki odmiany Emka i segmenty łuszczyń rzodkwi świrzepy, pobrane z masy plonu przed czyszczeniem w Przedsiębiorstwie Przetwórstwa Zbożowego „PZZ” Boliński w Szczytnie, których wilgotność względna wynosiła odpowiednio 12,8 i 12,6%. Z obydwu frakcji gatunkowych wybrano losowo po 300 ziaren gryki i segmentów łuszczyń rzodkwi świrzepy. Dla każdego z nich wyznaczono długość, szerokość, grubość i masę jednostkową.

Do pomiaru cech geometrycznych ziaren i łuszczyń wykorzystano mikroskop warsztatowy MWM 2325 ze śrubą mikrometryczną o dokładności 0,01 mm, a do wyznaczenia ich masy – wagę laboratoryjną WA-31 z dokładnością 0,1 mg. Liczebność ziaren lub segmentów łuszczyń w próbce uważano za wystarczającą o ile spełnione były dla wszystkich mierzonych cech dwa warunki [Greń 1975]:

- niezbędna liczba pomiarów  $n$  obliczona przy założonym błędzie szacunku  $d$

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 \cdot S^2}{d^2}$$

jest mniejsza od przyjętej liczby powtórzeń pomiarów  $n_0$ ,

- rozkład empiryczny danej cechy wykazuje właściwości rozkładu normalnego lub logarytmiczno-normalnego.

Pojedynczy pomiar wykonywano tak samo dla ziaren gryki jak i dla łuszczyń rzodkwi świrzepy. Pomiar rozpoczynano od umieszczenia wylosowanego ziarna lub łuszczyzny na szalce wagi, którą średnio co 25 pomiarów zerowano oraz sprawdzano poprawność wskazań odważnikami wzorcowymi. Po wyznaczeniu masy ziarna lub łuszczyzny umieszczano je na posmarowanej smarem płytce mikroskopu, odczytując ich wymiary w sposób opisany w pracy [Kaliniewicz, Rawa 2001]. Dane z pomiarów opracowano statystycznie przy użyciu pakietu programów statystycznych „Winstat” i „Statistica”. W pierwszej kolejności określono postaci rozkładów, a następnie obliczono współczynniki korelacji pomiędzy badanymi cechami i za pomocą analizy regresji jednej zmiennej oraz analizy regresji wielu zmiennych z procedurą krokową eliminacji zmiennych nieistotnych na poziomie  $\alpha = 0,05$ , wyznaczono odpowiednie współzależności. W analizie tej wykorzystywano wielomian jednej zmiennej piątego stopnia i wielomian wielu zmiennych stopnia drugiego.

## Wyniki badań

Charakterystykę statystyczną wymiarów oraz masy ziaren gryki i segmentów łuszczyń rzodkwi świrzepy przedstawiono w tabeli 1. Wyniki testu  $\chi^2$ -Pearsona wskazują, że na poziomie istotności 0,05 nie ma podstaw (poza grubością, szerokością i masą jednostkową łuszczyń rzodkwi świrzepy) do odrzucenia hipotezy, że rozkłady empiryczne są rozkładami normalnymi. Pozostałe rozkłady wykazują cechy rozkładu logarytmiczno-normalnego. Związki korelacyjne między wszystkimi czterema badanymi cechami dla ziaren gryki oraz łuszczyń rzodkwi świrzepy są statystycznie istotne na przyjętym poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  (tab. 2). Najbardziej skorelowane ze sobą są szerokość i grubość obydwu rodzajów cząstek. Natomiast najmniej skorelowane, aczkolwiek statystycznie istotnie, są masa i długość ziaren gryki oraz szerokość i długość segmentów łuszczyń rzodkwi świrzepy.

Tabela 1. Parametry statystyczne rozkładów wymiarów oraz masy ziaren gryki i segmentów łuszczyn rzodkwi świrzepy

Table 1. Statistical parameters of distribution of dimensions and mass of buckwheat and wild radish segments

Gatunek	Cecha	$x_{min}$	$x_{max}$	$\bar{x}$	$S$	$d$	$n$	$n_0$	$\chi^2_{obl}$	$\chi^2_{\alpha}$
Ziarna gryki	$a_1$	2,70	4,32	3,51	0,307	0,1	36	300	4,649	7,815
	$b_1$	2,86	4,91	3,89	0,312	0,1	37		1,374	7,815
	$c_1$	4,07	7,29	5,84	0,503	0,1	97		5,281	7,815
	$m_1$	7,0	35,8	22,9	5,20	1,0	104		5,611	9,488
Segmenty łuszczyn rzodkwi świrzepy	$a_2^*$	2,07	5,28	3,41	0,574	0,1	127	300	1,777	5,999
	$b_2^*$	2,50	5,54	3,60	0,573	0,1	126		2,327	5,999
	$c_2$	3,65	7,71	5,42	0,746	0,1	214		2,214	7,815
	$m_2^*$	4,5	39,5	14,8	6,63	1,0	169		5,173	7,815

\* – parametry cechy dla rozkładu logarytmiczno-normalnego

Tabela 2. Współczynniki korelacji wymiarów oraz masy ziaren gryki i segmentów łuszczyn rzodkwi świrzepy

Table 2. Correlation coefficients of dimensions and mass of buckwheat and wild radish segments

Ziarna gryki					Segmenty łuszczyn rzodkwi świrzepy				
Cecha fizyczna	$a_1$	$b_1$	$c_1$	$m_1$	Cecha fizyczna	$a_2$	$b_2$	$c_2$	$m_2$
$a_1$	1,000	0,814	0,339	0,573	$a_2$	1,000	0,937	0,282	0,744
$b_1$	0,814	1,000	0,413	0,545	$b_2$	0,937	1,000	0,282	0,743
$c_1$	0,339	0,413	1,000	0,335	$c_2$	0,282	0,282	1,000	0,454
$m_1$	0,573	0,545	0,335	1,000	$m_2$	0,744	0,743	0,454	1,000

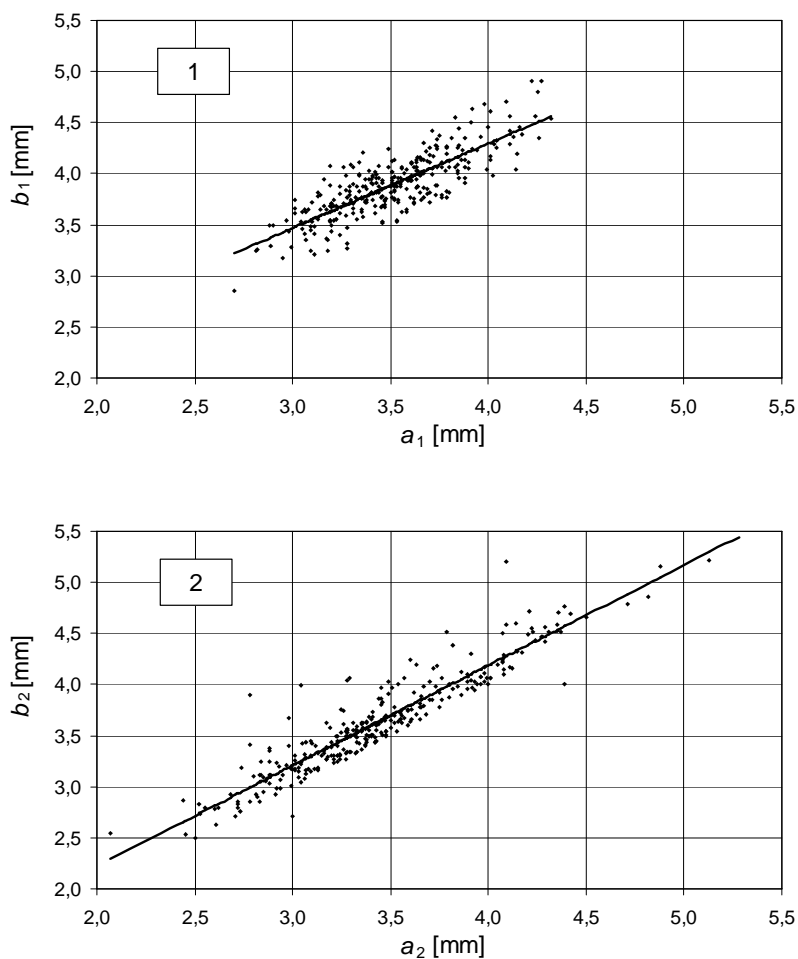
Wartość krytyczna współczynnika korelacji – 0,113

Związek dwóch najbardziej skorelowanych cech – grubości i szerokości – zarówno ziaren gryki, jak i segmentów łuszczyn rzodkwi świrzepy można opisać wielomianami pierwszego stopnia (tab. 3 i rys. 1).

Tabela 3. Równania jednej zmiennej opisujące związek między wymiarami oraz masą ziaren gryki i łuszczyn rzodkwi świrzepy

Table 3. Equations of regression for single variable described relation between dimensions and mass of buckwheat and wild radish seeds

Gatunek	Równanie	Procent wyjaśnionej zmienności	Odchylenie standardowe reszt
Ziarna gryki	$a_1 = 0,7999b_1 + 0,3983$	66,23	0,178
	$a_1 = 0,0020c_1^3 + 3,1003$	11,69	0,288
	$a_1 = 0,0338m_1 + 2,7366$	32,88	0,251
	$b_1 = 0,8280a_1 + 0,9851$	66,23	0,181
	$b_1 = 0,2565c_1 + 2,3946$	17,09	0,284
	$b_1 = 0,0327m_1 + 3,1432$	29,69	0,262
	$c_1 = 1,3572a_1 - 0,0010a_1^5 + 1,6382$	12,67	0,471
	$c_1 = 25,3965b_1 - 5,9464b_1^2 + 0,4715b_1^3 - 30,6862$	19,13	0,454
	$c_1 = 0,0324m_1 + 5,0995$	11,22	0,474
	$m_1 = 19,7181a_1 - 11,1964$	32,88	4,258
	$m_1 = 9,0769b_1 - 12,4019$	29,69	4,358
	$m_1 = 0,0006c_1^5 + 18,7509$	11,83	4,880
Segmenty łuszczyn rzodkwi świrzepy	$a_2 = 0,8938b_2 + 0,1861$	87,73	0,169
	$a_2 = 0,0169c_2^2 + 2,9248$	8,11	0,462
	$a_2 = 0,0541m_2 + 2,5550$	55,31	0,322
	$b_2 = 0,9815a_2 + 0,2628$	87,73	0,177
	$b_2 = 0,0021c_2^3 + 3,2841$	7,72	0,485
	$b_2 = 0,0566m_2 + 2,7135$	55,17	0,338
	$c_2 = 0,4359a_2 + 3,9253$	7,95	0,715
	$c_2 = 0,0521b_2^2 + 4,7208$	7,24	0,718
	$c_2 = 0,0511m_2 + 4,5939$	20,66	0,664
	$m_2 = 10,2215a_2 - 18,8900$	55,31	4,430
	$m_2 = 9,7418b_2 - 19,1861$	55,17	4,437
	$m_2 = 4,0401c_2 - 5,7320$	20,66	5,903



Rys. 1. Współzależność szerokości  $b$  i grubości  $a$  dla: 1 – ziaren gryki, 2 – segmentów łuszczyn rzodkwi świrzepy

Fig. 1. Interdependence of width seeds  $b$  and their thickness  $a$  for: 1 – buckwheat, 2 – wild radish segments

W pierwszym przypadku, dotyczącym ziaren gryki, procent wyjaśnionej zmienności wyniósł ok. 66, a w przypadku drugim, dotyczącym segmentów łuszczyn rzodkwi świrzepy – ok. 88. Świadczy to, że kształt przekroju poprzecznego ziaren gatunku podstawowego, tj. ziaren gryki, zbliżony do trójkąta równobocznego i kształt przekroju poprzecznego gatunku zanieczyszczającego, tj. segmentów łuszczyn

rzodkwi świrzepy, zbliżony do koła, jest praktycznie zachowany w całym zakresie ich wymiarów i masy. Powyższe potwierdzają równania opisujące masę ziaren gryki i segmentów łuszczyń rzodkwi świrzepy (tab. 3), dla których procent wyjaśnionej zmienności wyniósł odpowiednio od ok. 30 do 33 i ok. 55. Silny związek omawianych wyżej cech może być wykorzystany w modelowaniu geometrii elementu rozdzielającego maszyny czyszczącej oraz w modelowaniu samego procesu czyszczenia ziarna gryki.

Długość ziaren gryki i segmentów łuszczyń rzodkwi świrzepy, jako najmniej skorelowana z pozostałymi trzema analizowanymi cechami, w modelowaniu procesu rozdzielczego będzie miała ograniczone zastosowanie. Potwierdzają to także równania sformułowane w postaci wielomianów stopnia drugiego (tab. 4), opisujące wszystkie cztery analizowane cechy przyjętych materiałów. Widać z nich, że długość jako najmniej skorelowana z pozostałymi cechami, była w trzech na osiem przypadków wyeliminowana z równań w procedurze krokowej analizy regresji wielu zmiennych.

Tabela 4. Równania wielu zmiennych opisujące związek między wymiarami oraz masą ziaren gryki i łuszczyń rzodkwi świrzepy

Table 4. Equations of multiple regression described relation between dimensions and mass of buckwheat and wild radish seeds

Gatunek	Równanie regresji krokowej	Procent wyjaśnionej zmienności	Odczylenie standardowe reszt
Ziarna gryki	$a_1 = 0,7009b_1 - 0,0109m_1 + 0,5335$	68,63	0,172
	$b_1 = 0,7301a_1 + 0,0672c_1 + 0,0009c_1 \cdot m_1 + 0,8166$	68,88	0,175
	$c_1 = 3,3985b_1 - 0,3644b_1^2 + 0,0003m_1^2 - 2,0085$	20,12	0,451
	$m_1 = 0,9553a_1 \cdot b_1 + 0,3871a_1 \cdot c_1 + 1,8358$	35,53	4,180
Segmenty łuszczyń rzodkwi świrzepy	$a_2 = 0,6704b_2 - 0,0006m_2^2 + 0,0083b_2 \cdot m_2 + 0,6831$	88,51	0,164
	$b_2 = 0,9055a_2 + 0,0002m_2^2 + 0,4622$	88,22	0,174
	$c_2 = 0,1032m_2 - 0,0114a_2 \cdot m_2 - 4,4123$	21,82	0,660
	$m_2 = 8,0874c_2 - 0,5292c_2^2 + 1,2643a_2 \cdot b_2 - 27,8513$	63,73	4,004

## Wnioski

1. Spośród czterech analizowanych cech – masa, długość, szerokość i grubość – ziaren gryki i segmentów łuszczyń rzodkwi świrzepy najbardziej ze sobą są skorelowane, zarówno u jednego, jak i drugiego gatunku, grubość i szerokość. Współczynniki korelacji wynoszą odpowiednio ok. 0,81 i 0,94. Związek między tymi cechami można opisać wielomianem stopnia pierwszego, przy którym procent wyjaśnionej zmienności dla ziaren gryki wynosi ok. 66, a dla segmentów łuszczyń rzodkwi świrzepy – ok. 88.
2. Silny związek grubości i szerokości ziaren gryki i segmentów łuszczyń rzodkwi świrzepy wskazuje, że kształt przekroju poprzecznego obydwu gatunków, odpowiednio zbliżony do trójkąta równobocznego i zbliżony do koła – jest praktycznie zachowany w całym ich zakresie wymiarowym i masowym. A zatem stałość kształtu przekroju poprzecznego ziaren i łuszczyń obydwu gatunków może być wykorzystana w modelowaniu procesu czyszczenia ziarna gryki, uwzględniającego również modelowanie geometrii elementu rozdzielającego maszyny czyszczącej.

## Bibliografia

- Greń J. 1975. Statystyka matematyczna modele i zadania. Wyd. PWN, Warszawa.
- Kaliniewicz Z. 2000. Modelowanie tryjerów z wgłębieniami kieszonkowymi w aspekcie poprawy skuteczności czyszczenia nasion gryki. Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku, (praca doktorska).
- Kaliniewicz Z., Rawa T. 2001. Analiza cech geometrycznych nasion gryki pod kątem określenia kształtu i wymiarów wgłębień tryjera cylindrycznego. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 1, 21-28.
- Rawa T. 1992. Studia nad skutecznością czyszczenia ziarna gryki. *Acta Acad. Agricult. Techn. Olst., Aedif. Mech.*, 22, Supplementum A, 3-65.
- Semczyszyn M., Fornal Ł. 1990. Analiza skuteczności pracy urządzeń czyszczących stosowanych w liniach technologicznych czyszczenia ziaren gryki. I. Metodyka badań. *Acta Acad. Agricult. Techn. Olst., Aedif. Mech.*, 21, s. 99-110.



## **ANALYSIS OF RELATIONSHIPS BETWEEN MASS AND BASIC DIMENSIONS BUCKWHEAT AND WILD RADISH SEGMENTS**

### **Summary**

The methodology and results of measurements of thickness, width and length as well as mass of buckwheat and wild radish seeds in work were introduced. Between received features, the correlation and mathematical relationships were qualified. The obtained equations can be used to building of mathematical models of buckwheat and wild radish segments seeds as well as to the mathematical modelling of cleaning processes.

**Key words:** buckwheat, wild radish segments, dimensions, mass correlation of features