

WYKORZYSTANIE CECH GEOMETRYCZNYCH CZĄSTEK NASION WYKI W OCENIE SKUTECZNOŚCI ROZDRABNIACZA BIJAKOWEGO

Andrzej Anders

Katedra Inżynierii Rolniczej i Surowców Naturalnych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
ul. M. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn
e-mail: anders@uwm.edu.pl

Streszczenie. W pracy analizowano skutki zderzenia nasion wyki jarej odmiany Hanka z bijakami rozdrabniacza. Rozdrabnianie wykonano na próbkach nasion o wilgotności 10%. Średni współczynnik kołowy dla rzutów całych nasion wyki wynosił $0,86 \pm 0,03$, dla rozdrobnionych nasion pozostałych podczas odsiewania na sicie o wymiarach oczek 2,0 mm wynosił od $0,75 \pm 0,07$ do $0,78 \pm 0,07$. Rozdrabniając nasiona wyki z większymi prędkościami wirowania bijaków tj. powyżej $768 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ uzyskano bardzo duże liczby cząsteczek małych, których średnia powierzchnia rzutu cząsteczek wynosiła od $0,35 \pm 0,42 \text{ mm}^2$ do $0,48 \pm 0,46 \text{ mm}^2$, średni obwód wynosił od $2,26 \pm 1,49 \text{ mm}$ do $2,69 \pm 1,39 \text{ mm}$ a obliczony średni współczynnik kołowy miał wartość od $0,70 \pm 0,13$ do $0,72 \pm 0,11$. Na podstawie wartości obliczonych współczynników kołowych można przypuszczać, że cząsteczki mniejsze rozdrobnionych nasion wyki posiadają kształty bardziej nieregularne.

Słowa kluczowe: rozdrabnianie, nasiona wyki, właściwości geometryczne, powierzchnia rzutu, współczynnik kołowy

WSTĘP

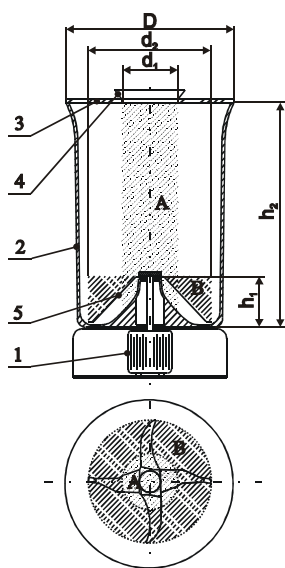
Nasiona wyki (*Vicia sativa* L.) są źródłem białka i energii wykorzystywanej w żywieniu zwierząt. W Polsce znaczenie gospodarcze mają dwa gatunki *V. sativa* – wyka siewna (jara) i *V. villosa* – wyka kosmata (ozima). Powierzchnia uprawy obu gatunków zajmuje około 2000 ha, z czego 680 ha przeznaczają się na użytkowanie nasienne (Dolata i in. 2006). Wyka siewna jest stosowana jako składnik mieszanek strączkowych i zbożowo – strączkowych. Uprawiana jest przede wszystkim na paszę zieloną, ale także jako roślina poprawiająca stanowisko dla roślin zbożowych w cyklu zmianowania. Wyka siewna uprawiana na nasiona lub zielonkę ma zastosowanie w żywieniu zwierząt monogastrycznych i poligastrycznych (Potkański i in. 1999, Pisu-

lewska i Szymczyk 1999). Cenną właściwością wyki siewnej jest wysoka zawartość białka, a w nim tioaminokwasów, a szczególnie metioniny (Ceglarek i in. 2007, Jasińska i Kotecki 1993). W celu podniesienia zawartości cennego białka w paszy zaleca się mieszanie nasion wyki siewnej z nasionami innych roślin paszowych (Ruszczyk 1983). Zawartość białka ogólnego w nasionach wyki siewnej jest zróżnicowana w zależności od właściwości genetycznych odmian i warunków siedliska i waha się w granicach 32-35% (Kotecki 1987). Nasiona wyki mają kształt zbliżony do kulistego oraz posiadają gładką powierzchnię. Średnia długość nasion wyki wynosi $5,19 \pm 0,39$ mm, szerokość $4,33 \pm 0,25$ mm a grubość $3,63 \pm 0,25$ mm w zakresie wilgotności wynoszącym od 10% do 57% (Yalcin i Ozarslan 2004). Znajomość cech geometrycznych i fizycznych nasion jest niezbędna do projektowania urządzeń stosowanych podczas zbioru, transportu, separacji, suszenia i przetwórstwa (Anders 2007, Dobrzański jr 2007, Lewicki 2005, Sosnowski 2006). Znajomość cech geometrycznych rozdrobionych nasion może być przydatna dla poprawienia przyswajalności pasz dla zwierząt hodowlanych (Flis i in. 2001, Kram i in. 2007). Celem tego artykułu było określenie wybranych cech geometrycznych rozdrobionych cząstek nasion wyki za pomocą rozdrabniacza bijakowego wykorzystując narzędzia analizy obrazu (Wojnar 2002, Konopka i in. 2004, Nawara i Krzysztofik 2007, Szot i in. 2003).

METODYKA BADAŃ

Materiałem do badań były nasiona wyki jarej odmiany Hanka, przechowywane w temperaturze 22°C oraz wilgotności powietrza około 55%. Wilgotność nasion określana według PN-EN ISO 665:1999 wynosiła 10%. Rozdrabnianie nasion wykonano na rozdrabniaczu bijakowym wyposażonym w bijaki o średnicy $D = 55$ mm (rys. 1).

Nasiona wsypywano przez otwór w górnej pokrywie. Prędkość katowa bijaków była regulowana i wynosiła od $\omega_l = 227 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ do $\omega_r = 942 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$. Na rysunku 1 zaznaczono teoretyczny obszar opadania nasion do przestrzeni roboczej rozdrabniacza oraz teoretyczny obszar oddziaływania bijaków. W określaniu tego obszaru pominięto znoszenie opadających nasion na skutek zawirowania powietrza w przestrzeni roboczej rozdrabniacza wywołanego przez obracające się z dużą prędkością bijaki. Próbkę 100 nasion ważono a następnie wsypywano do przestrzeni roboczej. Bijaki w przestrzeni roboczej rozdrabniacza wirowały w trakcie rozdrabniania nasion z ustaloną wcześniej prędkością przez około 1 s. Prędkość liniowa końca bijaków przy najniższej prędkości katowej wynosiła około $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a przy najwyższej badanej prędkości katowej wynosiła około $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Z uzyskanej po rozdrabnianiu mieszaniny części nasion odliczano nasiona całe, które nie uległy rozdrobieniu a pozostałą część mieszaniny rozdzielano na sitach drucianych o wymiarach oczek 1,0 mm i 2,0 mm.



Rys. 1. Rozdrabniacz bijakowy: A – obszar opadania nasion, B – obszar oddziaływania bijaków, d_1 – średnica otworu wlotowego, d_2 – długość bijaków, D – średnica cylindra, h_1 – wysokość położenia górnego bijaka, h_2 – wysokość cylindra, 1 – silnik, 2 – cylinder, 3 – pokrywa, 4 – zasyp, 5 – bijaki

Fig. 1. Feed mill: A - space for seed falling, B - space of hammer action, d_1 - diameter of inlet, d_2 - length of hammers, D - diameter of cylinder, h_1 - upper position of hammer, h_2 - height of cylinder, 1 - motor, 2 - cylinder, 3 - cover, 4 - feeder inlet, 5 - hammers

Uzyskane po separacji sitowej frakcje części morfologicznych nasion ważono na wadze z dokładnością 0,01 g.

Próbkę rozdrabniania oraz przesiewania rozdrobnionych nasion powtórzono trzykrotnie. Całe nasiona oraz przesiane na sitach próbki rozdrobnionych nasion skanowano przy pomocy skanera płaskiego typu Plustek Optic Pro ST 24 w rozdzielczości 1200 dpi. Na podstawie uzyskanych obrazów wykonano analizę obrazu rzutów uszkodzonych nasion oraz rozdrobnionych części morfologicznych wykorzystując program ImageJ. Do badanych cech geometrycznych rzutu nasion i cząsteczek należały: powierzchnia, obwód, współczynnik kołowy i średnica Fereta. Współczynnik kołowy rzutów prostopadłych obliczono korzystając ze wzoru 1 (Sakai i in. 1996).

$$K = 4 \cdot \pi \frac{S}{L^2}; \quad (1)$$

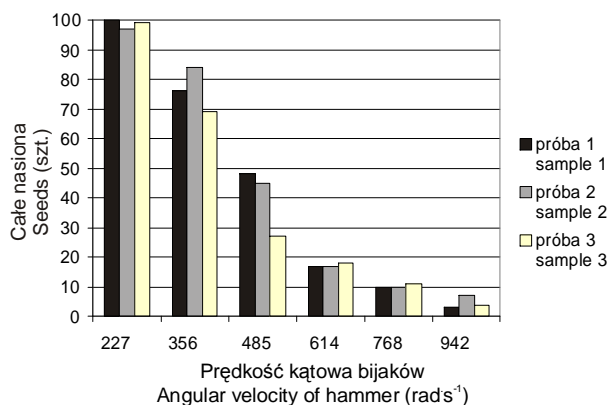
gdzie: K – współczynnik kołowy, S – pole powierzchni rzutu cząsteczki lub nasiona (mm^2), L – obwód rzutu cząsteczki lub nasiona (mm).

Obliczenia podstawowych statystyk na podstawie otrzymanych wyników wykonano w programie Statistica 5.5.

WYNIKI

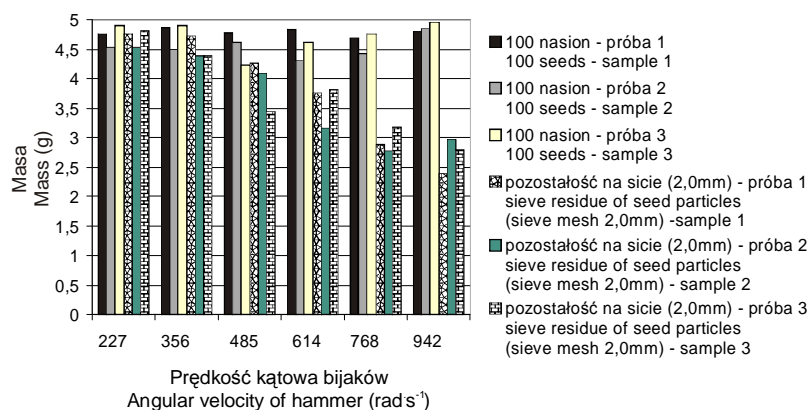
Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań pozwalają opisać stan nasion wyki siewnej odmiany Hanka po zderzeniach z bijakami rozdrabniacza. Udział nasion, które zostały wrzucone do przestrzeni roboczej rozdrabniacza ale nie uległy rozdrobnieniu dla przyjętego zakresu prędkości kątowych bijaków przedstawia rysunek 2. Wśród tych nasion można było zauważyć te, u których nastąpiło znaczne uszkodzenie okrywy owocowo-nasiennej ale nasiona nie rozpadły się na mniejsze części pod wpływem uderzenia. Masa 100 nasion przed rozdrabnianiem wynosiła od 4,25 g do 5 g. Masa frakcji cząsteczek nasion uzyskanej po

rozdrobnieniu i pozostałej w trakcie przesiewania na sicie o wymiarach 2,0 mm zależała od prędkości kątowej wirowania bijaków rozdrabniacza (rys. 3).



Rys. 2. Udział nasion nierozdrobnionych

Fig. 2. Share of non-ground seeds

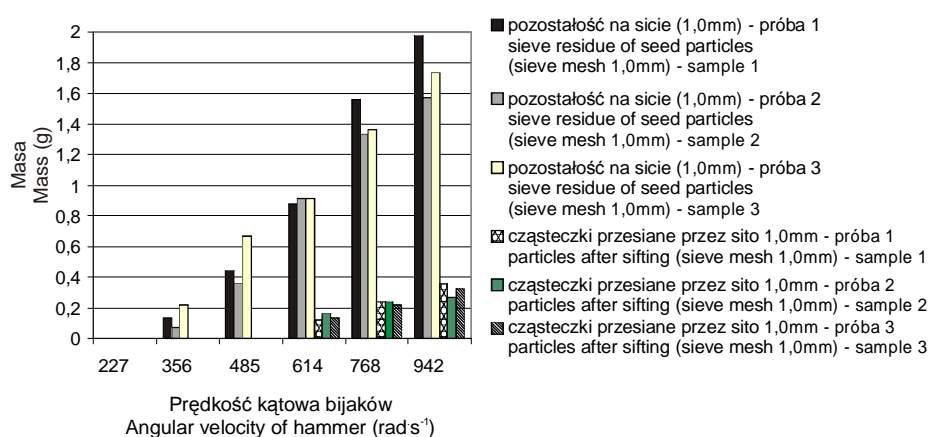


Rys. 3. Masa nasion przed rozdrabnianiem oraz udział cząsteczek nasion rozdrobnionych pozostałych na sicie o wymiarach 2,0 mm

Fig. 3. Mass of seeds before grinding and share of sieve residue of seed particles after grinding (sieve mesh 2.0 mm)

Przesiewając próbki rozdrobnionych nasion na sitach o wymiarach 1,0 mm zauważono, że dla prędkości wirowania bijaków wynoszącej od 227 rad·s⁻¹ do ponad 485 rad·s⁻¹ masa uzyskanych cząsteczek nasion była bardzo mała. Znaczne ilości cząsteczek nasion o wielkości poniżej 1,0 mm pojawiają się gdy bijaki rozdrabniacza wirują z prędkością większą od 614 rad·s⁻¹. Cząsteczki nasion wyki, które pozostały na sicie o wymiarach 1,0 mm w trakcie przesiewania występowały w próbkach gdy bijaki wirowały z prędkością co najmniej 356 rad·s⁻¹.

Masa tych cząsteczek nasion była znacznie większa od masy cząsteczek nasion przesianych przez sito o wymiarach 1,0 mm (rys. 4).



Rys. 4. Udział cząsteczek nasion pozostałych i przesianych na sicie o wymiarach 1,0 mm
Fig. 4. Share of sieve residue of seed particles and particles after sifting (sieve mesh 1.0 mm)

Wyniki obserwacji uzyskanych próbek rozdrobnionych nasion wyki oraz obliczenia podstawowych parametrów statystycznych mierzonych cech geometrycznych przedstawiają tabele 1-4.

Tabela 1. Wyniki pomiarów cech geometrycznych całych nasion
Table 1. Statistical parameters of geometric features of non-grinded vetch seeds

Cecha geometryczna Geometric feature	<i>n</i>	Średnia Mean	Min	Max	Odch. std Standard deviation
Powierzchnia rzutu nasion wyki Projection area of vetch seed (mm ²)	472	15,04	8,26	21,91	2,18
Obwód nasion wyki Perimeter of vetch seed (mm)	472	14,76	10,85	18,12	1,08
Współczynnik kołowy Circularity	472	0,86	0,59	0,90	0,03
Średnica Fereta Feret's diameter (mm)	472	4,67	3,46	5,78	0,36

Liczba nasion – Number of vetch seeds (*n*).

Tabela 2. Wyniki pomiarów cech geometrycznych rozdrobnionych nasion wyki (cząsteczki pozostałe na sicie o wymiarach 2,0 mm)

Table 2. Statistical parameters of geometric features of vetch seed after grinding (sieve residue of sieve mesh 2.0 mm)

Cecha geometryczna Geometric feature	ω_x^* (rad·s ⁻¹)	n	Średnia Mean	Min	Max	Odch. std Standard deviation
Powierzchnia rzutu cząsteczki Projection area of particle (mm ²)	356	99	12,12	7,08	17,89	2,04
	485	227	10,63	4,16	15,91	2,33
	614	206	10,74	3,57	18,69	2,31
	768	222	9,98	3,77	16,00	2,21
	942	206	10,30	2,09	16,18	2,38
Obwód cząsteczki Perimeter of particle (mm)	356	99	13,78	11,17	19,59	1,29
	485	227	13,05	8,32	17,50	1,37
	614	206	13,06	8,76	19,81	1,37
	768	222	12,83	8,96	16,46	1,29
	942	206	13,00	5,77	16,84	1,55
Współczynnik kołowy Circularity	356	99	0,80	0,51	0,88	0,07
	485	227	0,77	0,41	0,88	0,08
	614	206	0,78	0,43	0,88	0,07
	768	222	0,75	0,43	0,87	0,08
	942	206	0,75	0,54	0,87	0,07
Średnica Fereta Feret's diameter (mm)	356	99	4,33	3,47	5,15	0,34
	485	227	4,12	2,65	4,92	0,37
	614	206	4,18	2,64	5,31	0,38
	768	222	4,08	2,59	5,21	0,35
	942	206	4,13	1,97	5,21	0,43

*prędkość bijaków – hammer velocity (ω_x), liczba cząsteczek – number of vetch seed particles (n).

Tabela 3. Wyniki pomiarów cech geometrycznych rozdrobnionych nasion wyki (cząsteczki pozostałe na sicie o wymiarach 1,0 mm)

Table 3. Statistical parameters of geometric features of vetch seed after grinding (sieve residue of sieve mesh 1.0 mm)

Cecha geometryczna Geometric feature	ω_x^* (rad·s ⁻¹)	<i>n</i>	Średnia Mean	Min	Max	Odch. std Standard deviation
Powierzchnia rzutu cząsteczki Projection area of particle (mm ²)	356	67	4,85	1,32	8,67	2,06
	485	230	4,67	1,00	9,75	2,18
	614	309	4,22	0,92	10,38	2,01
	768	489	3,74	0,91	9,15	1,76
	942	693	3,57	0,84	9,47	1,77
Obwód cząsteczki Perimeter of particle (mm)	356	67	9,02	4,77	13,24	2,05
	485	230	8,80	4,11	13,51	2,18
	614	309	8,36	4,05	15,84	2,06
	768	489	7,87	4,12	13,41	1,91
	942	693	7,74	4,05	13,87	1,97
Współczynnik kołowy Circularity	356	67	0,71	0,43	0,87	0,08
	485	230	0,71	0,38	0,89	0,07
	614	309	0,72	0,43	0,89	0,07
	768	489	0,72	0,44	0,86	0,06
	942	693	0,71	0,31	0,88	0,07
Średnica Fereta Feret's diameter (mm)	356	67	3,20	1,56	4,44	0,67
	485	230	3,14	1,39	4,67	0,75
	614	309	2,99	1,59	5,67	0,73
	768	489	2,82	1,50	4,97	0,68
	942	693	2,78	1,38	5,28	0,73

*prędkość bijaków – hammer velocity (ω_x), liczba cząsteczek – number of vetch seed particles (*n*).

Tabela 4. Wyniki pomiarów cech geometrycznych rozdrobnionych nasion wyki (cząsteczki przesiane przez sito o wymiarach 1,0 mm)

Table 4. Statistical parameters of geometric features of vetch seed after grinding (particles after sifting, sieve mesh 1.0 mm)

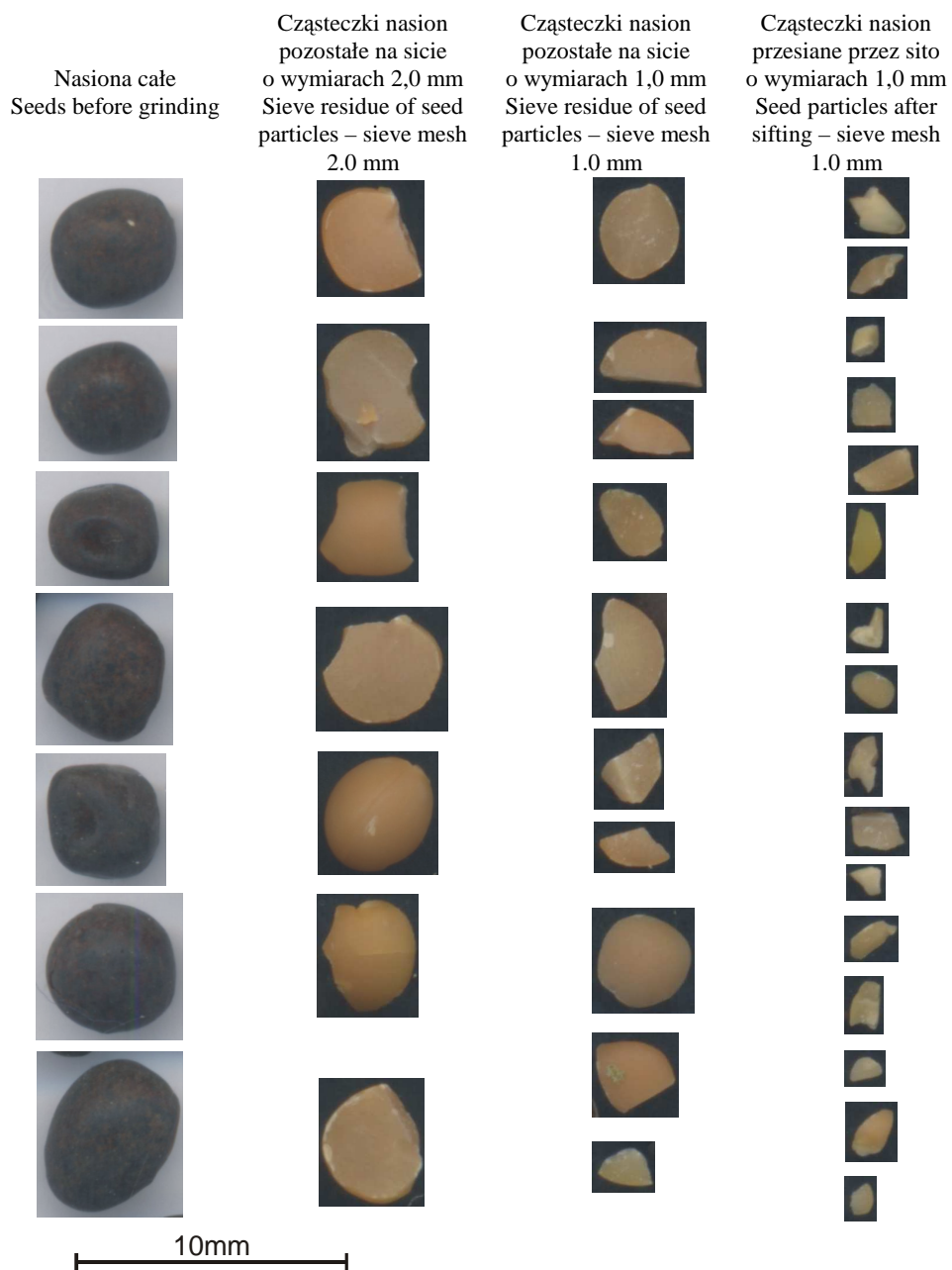
Cecha geometryczna Geometric feature	ω_x^* (rad·s ⁻¹)	n	Średnia Mean	Min	Max	Odch. std Standard deviation
Powierzchnia rzutu cząsteczki Projection area of particle (mm ²)	356	136	0,83	0,11	2,11	0,55
	485	641	0,73	0,10	2,54	0,53
	614	1171	0,52	0,07	2,37	0,48
	768	2309	0,48	0,05	2,42	0,46
	942	4527	0,35	0,01	2,51	0,42
Obwód cząsteczki Perimeter of particle (mm)	356	136	3,78	1,29	8,34	1,53
	485	641	3,39	1,24	7,43	1,35
	614	1171	2,92	0,99	10,92	1,55
	768	2309	2,69	0,85	9,31	1,39
	942	4527	2,26	0,35	12,16	1,49
Współczynnik kołowy Circularity	356	136	0,68	0,11	0,88	0,12
	485	641	0,71	0,18	0,90	0,10
	614	1171	0,67	0,09	0,91	0,12
	768	2309	0,72	0,15	0,93	0,11
	942	4527	0,70	0,12	1	0,13
Średnica Fereta Feret's diameter (mm)	356	136	1,39	0,47	2,65	0,54
	485	641	1,26	0,43	3,19	0,51
	614	1171	1,05	0,33	3,40	0,52
	768	2309	0,98	0,28	3,02	0,48
	942	4527	0,82	0,14	3,80	0,50

*prędkość bijaków – hammer velocity (ω_x), liczba cząsteczek – number of vetch seed particles (n).

Na wstępie wykonano pomiary oraz obliczono cechy geometryczne dla całych nasion wyki. Średnia powierzchnia rzutu całego nasiona wynosi $15,04 \pm 2,18$ mm² dla próby składającej się z 472 sztuk nasion. Średni obwód całego nasiona wynosi $14,76 \pm 1,08$ mm. Obliczony na podstawie zdjęć średni współczynnik kołowy wynosi $0,86 \pm 0,03$ a średnia średnica Fereta $4,67 \pm 0,36$ mm. Na

podstawie obliczonego współczynnika kołowego można wnioskować, że rzuty prostopadłe całych nasion wyki są zbliżone do koła (tab. 1). W wyniku uderzenia nasion bijakiem to liścienie osłonięte okrywą owocowo-nasienną w głównej mierze rozpadają się na drobne cząsteczki. Okrywa owocowo-nasienna również się rozpada na drobne kawałki albo pozostaje przywarta z cząsteczkami rozdrobnionych liścieni. Średnie pole powierzchni rzutu oraz obwód liścienia nasiona wyki, które pozostało na sicie o wymiarach 2,0 mm podczas przesiewania malało gdy prędkość kątowna wirujących bijaków była zwiększana. Średnia wartość współczynnika kołowego cząsteczek rozdrabnianych gdy bijaki wirowały z prędkością $356 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiła $0,80 \pm 0,07$ a dla prędkości wirowania bijaków równej $942 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiła $0,75 \pm 0,07$ (tab. 2). Średnie pole powierzchni rzutu rozdrobnionych liścieni pozostałych po przesiewaniu na sicie o wymiarach 1,0 mm wynosiło od $3,57 \pm 1,77 \text{ mm}^2$ do $4,85 \pm 2,06 \text{ mm}^2$. Obliczony średni obwód tych liścieni wynosił od $7,74 \pm 1,97 \text{ mm}$ do $9,02 \pm 2,05 \text{ mm}$, współczynnik kołowy wynosił od $0,86 \pm 0,06$ do $0,89 \pm 0,07$, a średnia średnica Fereta miała wartość od $2,78 \pm 0,73 \text{ mm}$ do $3,20 \pm 0,67 \text{ mm}$ (tab. 3). Najmniejsze badane cząsteczki rozdrobnionych nasion wyki były odsiewane na sicie o wymiarach 1,0 mm. Średnia powierzchnia rzutu rozdrobnionych liścieni wynosiła od $0,35 \pm 0,42 \text{ mm}^2$ do $0,83 \pm 0,55 \text{ mm}^2$, a średni obwód wynosił od $2,26 \pm 1,49 \text{ mm}$ do $3,78 \pm 1,53 \text{ mm}$. Obliczony średni współczynnik kołowy dla tych cząsteczek wynosił od $0,68 \pm 0,12$ do $0,72 \pm 0,11$. W przypadku tak małych cząsteczek stosując analizę zdjęć uzyskanych za pomocą skanera odnotowano występowanie pojedynczych cząsteczek o współczynniku kołowym równym 1 oraz cząsteczek dla których współczynnik kołowy był równy 0,09. Średnia średnica Fereta wynosiła od $0,82 \pm 0,50 \text{ mm}$ do $1,39 \pm 0,54 \text{ mm}$ (tab. 4).

Fotografia 1 przedstawia wybrane typowe kształty rozdrobnionych nasion wyki siewnej. Cząsteczki nasion o wielkości powyżej 2,0 mm mają kształt nieco zdeformowany w wyniku uderzenia o bijaki. Część cząsteczek zachowuje swój pierwotny kształt i posiada nieliczne zadrapania na swojej powierzchni, ale cząsteczki te zostały poddane działaniu bijaków przy niskich prędkościach. Kształt cząsteczek nasion pozostałych w trakcie przesiewania na sicie o wymiarach 1,0 mm jest bardziej nieregularny a ich obwód jest poszarpany i nierówny. W grupie tej występuje znaczna ilość połówek liścieni, ćwiartek i cząsteczek mniejszych oraz daje się również zauważyć przyleganie fragmentów okrywy owocowo-nasiennej do tych cząsteczek. Kształt cząsteczek przesianych przez sito o wymiarach 1,0 mm jest najsilniej zróżnicowany w porównaniu do pozostałych badanych rozdrobnionych frakcji cząsteczek. W tej grupie występują cząsteczki o rzucie kolistym oraz cząsteczki silnie wydłużone. Obwód rzutu cząsteczek nasion jest bardzo nieregularny.



Fot. 1. Przykładowe rzuty całych nasion oraz cząsteczek nasion wyki
Photo. 1. Examples of projection area of whole seeds and vetch seed particles

WNIOSKI

1. Rozdrabniając nasiona wyki o wilgotności 10% z większymi prędkościami wirowania bijaków tj. powyżej $768 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ uzyskuje się bardzo dużą liczbę cząsteczek małych, których średnia powierzchnia rzutu cząsteczek wynosiła od $0,35\pm 0,42 \text{ mm}^2$ do $0,48\pm 0,46 \text{ mm}^2$, średni obwód wynosił od $2,26\pm 1,49 \text{ mm}$ do $2,69\pm 1,39 \text{ mm}$, a obliczony średni współczynnik kołowy miał wartość od $0,70\pm 0,13$ do $0,72\pm 0,11$.

2. Obliczony dla całych nasion wyki średni współczynnik kołowy wynosił $0,86\pm 0,03$, dla rozdrobnionych nasion pozostałych podczas odsiewania na sicie o wymiarach 2,0 mm wynosił od $0,75\pm 0,07$ do $0,78\pm 0,07$. Dla pozostałych cząsteczek pozostałych na sicie o wymiarach 1,0 mm i przesianych średni współczynnik kołowy wynosił od $0,67\pm 0,12$ do $0,72\pm 0,11$. Na podstawie wartości obliczonego współczynnika kołowego można przypuszczać, że cząsteczki mniejsze rozdrobnionych nasion wyki posiadały kształty bardziej nieregularne.

3. Prędkość wirowania elementu roboczego jakim był bijak tak aby nasiona wyki o wilgotności 10% zostały rozbite ale nie za bardzo rozdrobnione wynosi około $614 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$. Przy tej prędkości wirowania bijaków całych nasion z próbki składającej się ze 100 sztuk pozostało około 18 sztuk, średnia powierzchnia rzutu rozdrobnionych największych cząsteczek nasion wynosiła $10,74\pm 2,31 \text{ mm}^2$, a ich obwód wynosił $13,06\pm 1,37 \text{ mm}$. Cząsteczek o najmniejszych wymiarach, których powierzchnia rzutu wynosiła około $0,52\pm 0,48 \text{ mm}^2$ było czterokrotnie mniej w porównaniu do liczby cząsteczek uzyskanych w trakcie rozdrabniania przy prędkości bijaków wynoszącej $942 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

4. Wyniki uzyskane w trakcie badań dotyczą nasion o wilgotności 10% i nie wiadomo jak zmiana wilgotności wpłynie na cechy geometryczne w przypadku rozdrabniania nasion o mniejszej i większej wilgotności. Cechy geometryczne frakcji nasion wyki uzyskane w trakcie rozdrabniania mogą być przedmiotem dalszych badań nad optymalizacją procesu rozdrabniania.

PIŚMIENNICTWO

- Anders A., 2007. Analiza obrazu jako metoda oceny skuteczności obtuskiwania okrywy nasion gorczycy białej. *Acta Agrophysica*, 10(2), 263-271.
- Ceglarek F., Rudziński R., Płaza A., Buraczyńska D., 2007. Wartość pokarmowa wyki siewnej uprawianej w siewie czystym i współrzędnym w warunkach siedliskowych środkowowschodniej Polski. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 516, 19-26.
- Dobrzański B. jr, 2007. Właściwości geometryczne i mechaniczne nasion podczas deformacji i powstawania uszkodzeń. Właściwości Geometryczne mechaniczne i strukturalne surowców i produktów spożywczych, Wydawnictwo Naukowe FRNA, 41-65.
- Dolata A., Andrzejewska J., Wiatr K., 2006. Reakcja samokończących i tradycyjnych odmian wyki siewnej (*Vicia sativa* L. ssp. *Sativa*) na uprawę w różnych warunkach klimatyczno-glebowych. *Acta Scientiarum Polonorum*, 5(1), 25-35.

- Flis, M., Sobotka W., Jakubowski K., Mieszkalski L., Czarnyszewicz Z., Anders A., 2001. The nutritional value of differently prepared barley in growing-finishing pigs. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 10, 119-131.
- Jasińska Z., Kotecki A., 1993. *Rośliny strączkowe*. PWN, Warszawa.
- Konopka I., Koziorok W., Rotkiewicz D., 2004. Lipids and carotenoids of wheat grain and flour and attempt of correlating them with digital image analysis of kernel surface and cross-sections. *Food Research International*, 37, 429-438.
- Kotecki A., 1987. Wartość pokarmowa wyki siewnej (*Vicia sativa* L.) uprawianej w siewie czystymi współrzędnym. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rolnictwo*, XLVII, 109-116.
- Kram B. B., Woliński J., Wolińska J., 2007. Porównanie cech geometrycznych orzeszków z okrywą i bez u gryki formy Red Corolla. *Acta Agrophysica*, 9(3), 657-664.
- Lewicki P., 2005. *Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego*. WNT, Warszawa.
- Nawara P., Krzysztofik B., 2007. Pomiar metodą wideo-komputerową parametrów geometrycznych bulw ziemniaka. *Acta Agrophysica*, 9(2), 443-448.
- Pisulewska E., Szymczyk B., 1999. Ocena wartości pokarmowej nasion jarych i ozimych odmian wyki. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 468, 209-216.
- Potkański A., Rutkowski A., Frankiewicz A., Kuśnierek W., Mikulski S., 1999. Wykorzystanie nasion wyki jako źródła białka w żywieniu świń i drobiu. *Rocz. Nauk. Zoot.*, 3, 185-197.
- Ruszczyc Z., 1983. *Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo*. PWRiL, Warszawa.
- Sakai N., Yonekawa S., Matsuzaki A., 1996. Two-dimensional image analysis of shape of rice and its application to separating varieties. *Journal of Food Engineering*, 27, 397-407.
- Sosnowski S., 2006. Przyczyny powstawania uszkodzeń mechanicznych nasion fasoli podczas zbioru. *Acta Agrophysica*, 130.
- Szot B., Horabik J., Rusinek R., 2003. Physical properties characteristic of Polish and Canadian lentil seeds. *Int. Agrophysics*, 17, 123-129.
- Wojnar L., 2002. *Praktyka analizy obrazu*. PTS Kraków.
- Yalcin I., Ozarslan C., 2004. Physical Properties of Vetch Seed. *Biosystems Engineering*, 88(4), 507-512.

GEOMETRIC FEATURES OF VETCH SEED (*Vicia sativa* L.) PARTICLES IN EFFICIENCY ESTIMATION OF GRINDING IN GRAIN HAMMER MILL

Andrzej Anders

Department of Agricultural Engineering and Natural Resources, University of Warmia and Mazury
ul. M. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn
e-mail: anders@uwm.edu.pl

Abstract. The paper presents effects of collisions between vetch seeds var. Hanka and hammers of feed mill. The average vetch seed moisture was 10%. The average circularity of whole vetch seed amounted to 0.86 ± 0.03 ; for sieve residue of ground seeds on sieve mesh of 2.0 mm the average circularity was from 0.75 ± 0.07 to 0.78 ± 0.07 . The vetch seed grinding showed that the highest grinding hammer velocity (above 768 rad s^{-1}) resulted in a lot of small particles. The average projection area of these particles varied from $0.35 \pm 0.42 \text{ mm}^2$ to $0.48 \pm 0.46 \text{ mm}^2$; the average perimeter was from $2.26 \pm 1.49 \text{ mm}$ to $2.69 \pm 1.39 \text{ mm}$, and the average calculated circularity amounted to from 0.70 ± 0.13 to 0.72 ± 0.11 . The circularity values showed that the shapes of the smaller vetch seed particles were more irregular.

Keywords: grinding, vetch seed, geometric features, projection area, circularity