

WŁAŚCIWOŚCI GEOMETRYCZNE CZĘŚCI MORFOLOGICZNYCH
NASION LNU PODDANYCH USUWANIU OKRYWY
OWOCOWO-NASIEENNEJ

Andrzej Anders

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

Streszczenie. W pracy analizowano skutki zderzenia między nasionami lnu z tarczą obłuskującą podczas usuwania okrywy owocowo-nasiennej. Obłuskowanie wykonano na próbkach nasion o wilgotności 6%. Średnie pole powierzchni badanych nasion lnu, które nie uległy obłuskaniu gdy tarcza obłuskująca wirowała z prędkością $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiło $P = 7,44 \text{ mm}^2$ oraz dla prędkości wirowania tarczy $\omega_r = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiło $P = 6,89 \text{ mm}^2$. Największy średni współczynnik kolistości posiadały nasiona lnu obłuskowane z prędkością wirowania tarczy $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ i wynosił 0,69. Najwięcej uwolnionych liścieni uzyskano gdy tarcza obłuskująca obracała się z prędkością $\omega_t = 743,1 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ i było ich ponad 20%. Obłuskując nasiona lnu z prędkościami tarczy od $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ do $\omega_3 = 683,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ udział uwolnionych liścieni wynosił od 9,5% do 14,5%. Obłuskując nasiona lnu z prędkością kątową tarczy powyżej $\omega_5 = 794,4 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ powstaje dużo nadmiernie rozdrobnionych cząsteczek części morfologicznych nasion, które stanowią 30% wszystkich uzyskanych frakcji.

Słowa kluczowe: obłuskowanie, tarcza obłuskująca, nasiona lnu, właściwości geometryczne

WYKAZ OZNACZEŃ

D – średnica tarczy obłuskującej (mm),
 d_w – średnica zewnętrzna wypustki (mm),
 h_w – wysokość wypustki (mm),
 n – liczna nasion, liścieni lub okrywy owocowo-nasiennej (szt.)
 ω_x – prędkość kątowna tarczy obłuskującej ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$),
 W_p – wydatek powietrza ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$),
 v_p – prędkość strumienia powietrza ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),
 P – powierzchnia rzutu (mm^2),

O – obwód części morfologicznej nasiona (mm),
 C – współczynnik kolistości,
 F – średnica Fereta (mm),
 CN – całe i częściowo uszkodzone nasiona (%),
 $C_{<0,9}$ – cząsteczki o wymiarach poniżej 0,9 mm (%),
 LN – liścienie (%),
 O_{ON} – okrywa owocowo-nasienna (%),
 x – prędkość kątowa tarczy ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$),
 y – udział frakcji obłuskanych nasion lnu (%).

WSTĘP

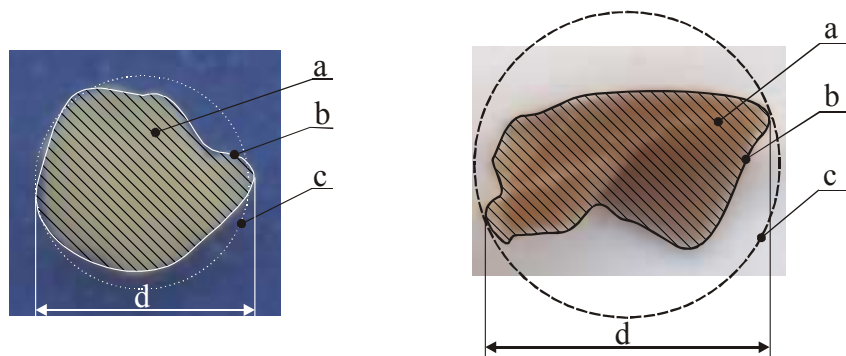
Nasiona lnu (*Linum usitatissimum* L.) są źródłem białka i energii wykorzystywanej w żywieniu, są również bogate w kwasy tłuszczowe omega-3. Nasiona w różnej postaci od dawna są stosowane jako dodatki w produktach spożywczych i paszowych (Carter 1993, Chen i in. 1994, Trevino i in. 2000). Nasiona lnu działają osłaniająco i regenerująco na błonę przewodu pokarmowego i dlatego też są stosowane w stanach zapalnych przewodu pokarmowego jak również w chorobie wrzodowej zarówno żołądka, jak i dwunastnicy. Nasiona lnu mają kształt spłaszczony, owalny z wyraźnie zaznaczonym wierzchołkiem oraz posiadają gładką, błyszczącą powierzchnię. Kolor nasion może być od czerwonawo-brązowego do jasnożółtego i zależy od ilości barwnika zawartego w okrywie owocowo-nasiennej. Długość nasion lnu wynosi 3,0-6,4 mm, szerokość 1,8-3,4 mm a grubość 0,5-1,6 mm (Freeman 1995). Wymiary nasion lnu oleistego są większe od wymiarów nasion lnu przeznaczonego dla przemysłu dziewiarskiego (Green i Marshall 1981). Analiza chemiczna pozwala stwierdzić, że nasiona lnu zawierają przeciętnie 30-40% tłuszczu, 20-25% białka, 20-28% włókna, 4-8% wilgotności i 3-4% popiołu. Olej uzyskany z nasion lnu zawiera witaminy A, B, D i E, minerały i amino kwasy. Wartość odżywcza nasion lnu zależy od uwarunkowań genetycznych, środowiska naturalnego, w którym jest len uprawiany oraz metody obróbki ziaren w przemyśle (Coskuner i Karababa 2007, Kemal Cagatay Selvi i in. 2006). Znajomość cech geometrycznych i fizycznych nasion pozwala zaprojektować maszynę przeznaczoną do konkretnego procesu technologicznego obróbki nasion (Anders 2005, Cerda i Garcí'a-Fayos 2002, Mieszkalski 1999, Oomah i Mazza 1998, Yun-Ling Zheng i in. 2005). Obłuskiwanie nasion lnu podobnie jak nasion rzepaku oraz gorczycy może być przeprowadzone w celu uzyskania czystych liścieni przeznaczonych w dalszym etapie do tłoczenia oleju jak i czystej frakcji łuski, która może być wykorzystana np. w przemyśle farmaceutycznym (Oomah i in. 1996, Anders 2003, Mieszkalski i Anders 2002). Celem tego artykułu było określenie wybranych cech geometrycz-

nych nasion lnu poddanych obłuskiwaniu wykorzystując narzędzia analizy obrazu (Anders 2007, Wojnar 2002, Konopka i in. 2004).

METODYKA BADAŃ

Materiałem do badań były nasiona lnu, przechowywane w pomieszczeniu o stałej temperaturze 20°C oraz wilgotności powietrza około 55%. Wilgotność nasion określana według PN-EN ISO 665:1999 wynosiła 6%. Obłuskiwanie nasion wykonano na obłuskiwaczu tarczowym wyposażonym w tarczę o średnicy $D = 140$ mm z cylindrycznymi wypustkami o średnicy zewnętrznej $d_w = 4$ mm i wysokości $h_w = 2,5$ mm. Nasiona były grawitacyjnie doprowadzone do przestrzeni roboczej poprzez lej zasypowy umieszczony w górnej pokrywie. Prędkość kątowna tarczy była regulowana i wynosiła od $\omega_l = 549,5$ rad·s⁻¹ do $\omega_7 = 889,7$ rad·s⁻¹. Nasiona lnu przed obłuskiwaniem były suszone w suszarce elektrycznej typu KCW-100 PREMEDI przez 2 godziny w temperaturze 50°C. Próbkę nasion lnu o masie 50 g były następnie wsypane do przestrzeni roboczej a obłuskiwacz był uruchamiany na około 3 min. Prędkość liniowa zewnętrznych wypustek umieszczonych na tarczy przy najniższej prędkości kątowej wynosiła około 38 m·s⁻¹ a przy najwyższej badanej prędkości kątowej wynosiła około 62 m·s⁻¹. Uzyskaną po obłuskiwaniu mieszaninę części morfologicznych nasion rozdzielano na sicie o wymiarach oczek 0,9 mm wykorzystując odsiewacz laboratoryjny typu SZ-1. Następnie części morfologiczne nasion rozdzielano na separatorze pneumatycznym Petkus K-293 przy wydatku powietrza wynoszącym $W_p = 22$ m³·h⁻¹ ($v_p = 2,44$ m·s⁻¹) oraz $W_p = 32$ m³·h⁻¹ ($v_p = 3,55$ m·s⁻¹). Dokładność pomiaru wydatku pionowego strumienia powietrza przepływającego przez kanał powietrzny wynosiła 1 m³·h⁻¹. Uzyskane w ten sposób frakcje części morfologicznych nasion ważono na wadze z dokładnością 0,01 g. Rozdzielone próbki części morfologicznych nasion uzyskane w trakcie obłuskiwania przy najwyższych i najniższych obrotach tarczy obłuskującej sfotografowano aparatem cyfrowym Nikon 5400. Na podstawie uzyskanych zdjęć o rozdzielczości 2592×1944 pikseli wykonano analizę obrazu uszkodzeń nasion wykorzystując program ImageJ.

Do badanych cech geometrycznych uwolnionych liścieni, okrywy owocownasiennej oraz nieobłuskanych nasion należały: powierzchnia rzutu, obwód, współczynnik kolistości i średnica Fereta (rys. 1). Stanowisko do analizy komputerowej składało się z komputera klasy PC wraz z oprogramowaniem. Obliczenia podstawowych statystyk na podstawie otrzymanych wyników wykonano w programie Statistica 5.5, a obliczenia dotyczące udziału poszczególnych frakcji nasion oraz analizę regresji wykonano w programie Microsoft Excel 2000.

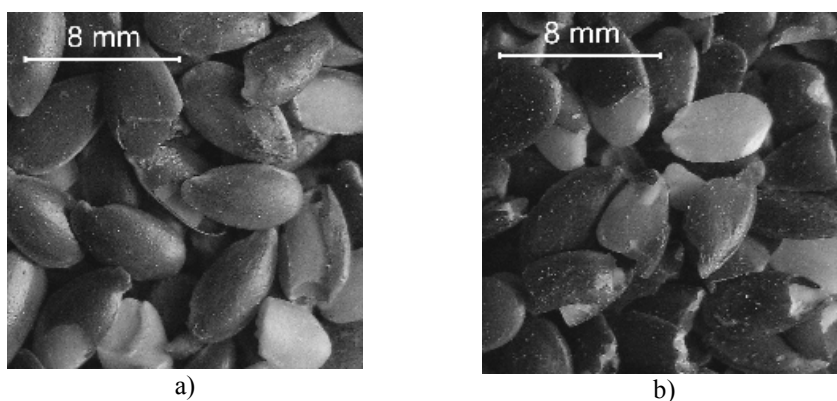


Rys. 1. Wybrane cechy geometryczne: a – pole powierzchni rzutu, b – obwód, c – współczynnik kolistości, d – średnica Fereta

Fig. 1. Selected characteristics of shape: a – projection area, b – perimeter, c – circularity, d – Feret's diameter

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

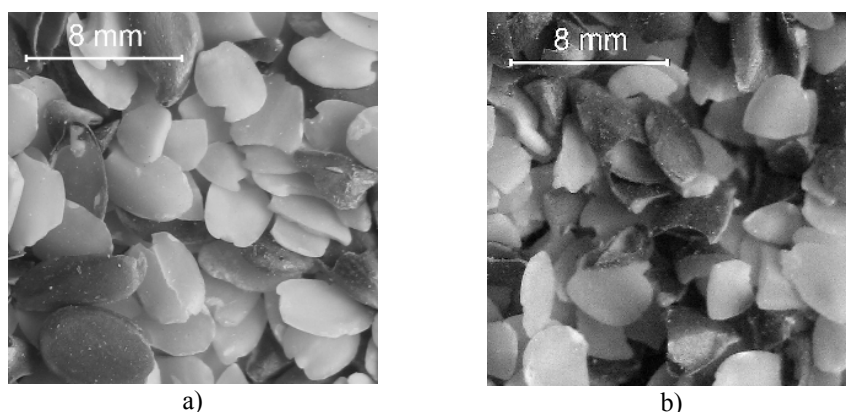
Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań pozwalają opisać stan nasion po zderzeniach z wypustkami obłuskiwacza. Fotografia 1 pokazuje nasiona lnu po kontakcie z tarczą obłuskującą z widocznymi uszkodzeniami okrywy owocowo-nasiennej. Okrywa owocowo-nasiennej posiada liczne ubytki oraz pęknięcia. Widoczne są również częściowo odsłonięte liścienie. Uszkodzenia okrywy owocowo-nasiennej są widoczne na próbkach obłuskanych nasion lnu z prędkością kątową tarczy wynoszącą $\omega_1 = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz z prędkością obrotową tarczy wynoszącą $\omega_7 = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$. Na fotografiach 1a i 1b widoczne są także pojedyncze uwolnione liścienie, które posiadały masę zbliżoną do nieobłuskanych całych nasion.



Fot. 1. Nasiona lnu uszkodzone w wyniku uderzenia o tarczę obłuskującą: a – prędkość tarczy $\omega_1 = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, b – prędkość tarczy $\omega_7 = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$

Photo. 1. Partially damaged linseeds after contact with hulling disk: a – hulling disk velocity $\omega_1 = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, b – hulling disk velocity $\omega_7 = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$

Fotografia 2 przedstawia uwolnione liścienie nasion lnu uzyskane przy prędkości kątowej tarczy $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz $\omega_l = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$. Widoczne są liczne uszkodzenia liścieni tj. pęknięcia i oderwania niewielkich fragmentów. Stosując separację pneumatyczną w pionowym kanale aspiracyjnym do wydzielonej frakcji liścieni przedostają się też uszkodzone nasiona o wadze zbliżonej do wagi liścieni. Widoczne są one również na fotografiach 2a i 2b.



Fot. 2. Liścienie nasion lnu uszkodzone w wyniku uderzenia o tarczę obłuskującą a – prędkość tarczy $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, b – prędkość tarczy $\omega_l = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$

Photo. 2. Partially damaged cotyledons of linseeds after contact with hulling disk: a – hulling disk velocity $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, b – hulling disk velocity $\omega_l = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$

Wyniki obliczeń statystycznych mierzonych cech geometrycznych uwolnionych liścieni, okrywy owocowo-nasiennej oraz nieobłuskanych nasion przedstawiają tabele 1, 2 i 3. Analizując wyniki powierzchni rzutu liścienia dla $n = 216$ sztuk stwierdzić należy, że średnia wartość powierzchni rzutu liścienia przy prędkości kątowej tarczy w trakcie obłuskiwania wynoszącej $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiła $4,20 \text{ mm}^2$. Dla prędkości tarczy obłuskującej wynoszącej $\omega_l = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz $n = 186$ sztuk liścieni średnia powierzchnia rzutu liścienia wynosiła $P = 3,46 \text{ mm}^2$. Obliczony średni współczynnik kolistości dla liścieni uwolnionych przy prędkości wirowania tarczy obłuskującej $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosił $0,55$, a dla tarczy wirującej z prędkością $\omega_l = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosił $0,46$.

Średnia powierzchnia rzutu okrywy owocowo-nasiennej powstała w trakcie obłuskiwania nasion z prędkością wirowania tarczy $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiła $P = 4,62 \text{ mm}^2$, a przy prędkości wirowania tarczy $\omega_l = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiła $P = 3,77 \text{ mm}^2$. Średni współczynnik kolistości części okrywy owocowo nasiennej uzyskanej podczas obłuskiwania z prędkością tarczy $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz $\omega_l = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosił $0,79$ oraz $0,75$ przy przeciętnym zróżnicowaniu równym $0,11$ i $0,10$.

Tabela 1. Wyniki pomiarów cech geometrycznych próbek uwolnionych liścieni po obłuskiwaniu
Table 1. Statistical parameters of geometric features of cotyledons after linseeds hulling

Cecha geometryczna Geometric feature	ω_x^* (rad·s ⁻¹)	n	Średnia Mean	Min	Max	Odch. std Standard deviation
Powierzchnia rzutu liścienia Projection area of cotyledon (mm ²)	549,5 889,7	216 186	4,20 3,46	1,45 1,63	7,96 6,70	1,34 1,25
Obwód liścienia Perimeter of cotyledon (mm)	549,5 889,7	216 186	9,76 9,76	5,66 5,85	17,25 15,85	1,83 2,08
Współczynnik kolistości Circularity	549,5 889,7	216 186	0,55 0,46	0,34 0,22	0,79 0,75	0,08 0,11
Średnica Fereta Feret's diameter (mm)	549,5 889,7	216 186	2,86 2,61	1,69 1,75	4,29 4,18	0,54 0,51

*prędkość tarczy obłuskującej – hulling disk velocity (ω_x), liczba liścieni – number of cotyledons (n).

Tabela 2. Wyniki pomiarów cech geometrycznych okrywy owocowo-nasiennej po obłuskiwaniu nasion lnu
Table 2. Statistical parameters of geometric features of fruit-seed coat after linseeds hulling

Cecha geometryczna Geometric feature	ω_x^* (rad·s ⁻¹)	n	Średnia Mean	Min	Max	Odch. std Standard deviation
Powierzchnia rzutu okrywy owocowo-nasiennej Projection area of linseed coat (mm ²)	549,5 889,7	194 149	4,62 3,77	1,75 1,45	8,86 8,06	1,82 1,44
Obwód okrywy Perimeter of linseed coat (mm)	549,5 889,7	194 149	10,39 9,77	5,93 6,30	19,34 15,34	2,33 1,89
Współczynnik kolistości Circularity	549,5 889,7	194 149	0,53 0,49	0,18 0,15	0,79 0,75	0,11 0,10
Średnica Fereta Feret's diameter (mm)	549,5 889,7	194 149	3,25 2,87	1,79 1,78	4,71 4,56	0,80 0,58

*prędkość tarczy obłuskującej – hulling disk velocity (ω_x), liczba okrywy owocowo-nasiennej – number of linseed coats (n).

Powierzchnia rzutu nieobłuskanego nasiona dla tarczy wirującej z prędkością obrotową $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiła $P = 7,44 \text{ mm}^2$, a dla prędkości obrotowej

tarczy $\omega_7 = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiła $P = 6,89 \text{ mm}^2$. Średni obwód nasiona dla zastosowanych prędkości tarczy obłuskującej wynosił od 11,62 mm do 13,67 mm. Obliczony średni współczynnik kolistości wynosił od 0,69 do 0,48 przy przeciętnym zróżnicowaniu od 0,07 do 0,11. Średnia średnica Fereta dla nasion nieobłuskanych z prędkością wirowania tarczy $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiła 4,26 mm, a dla prędkości obrotowej tarczy $\omega_7 = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiła 4,06 mm.

Tabela 3. Wyniki pomiarów cech geometrycznych nasion, które nie uległy obłuskaniu
Table 3. Statistical parameters of geometric features of non hulled linseeds

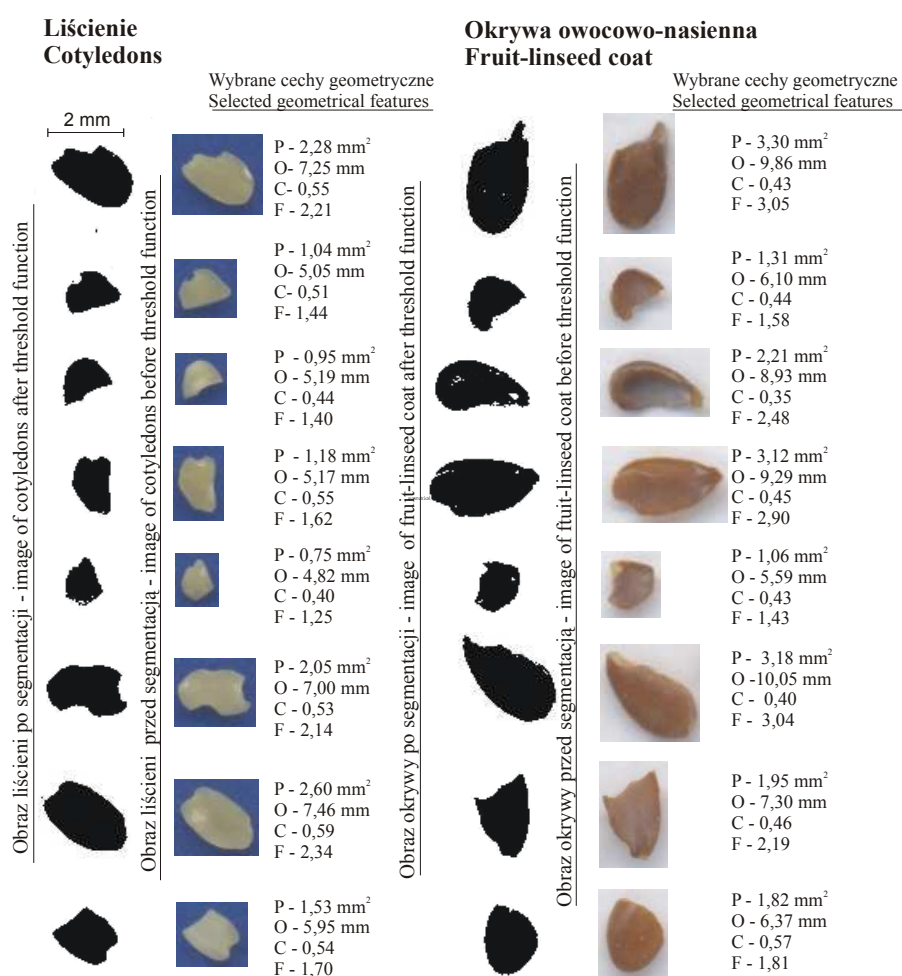
Cecha geometryczna Geometrical feature	ω_x^* ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)	n	Średnia Mean	Min	Max	Odch. std Standard deviation
Powierzchnia rzutu nasiona Projection area of linseed (mm^2)	549,5	147	7,44	5,13	10,68	0,95
	889,7	125	6,89	4,55	9,92	1,30
Obwód nasiona Perimeter of linseed (mm)	549,5	147	11,62	9,67	15,36	1,03
	889,7	125	13,67	9,22	21,86	2,17
Współczynnik kolistości Circularity	549,5	147	0,69	0,37	0,79	0,07
	889,7	125	0,48	0,16	0,71	0,11
Średnica Fereta Ferret's diameter (mm)	549,5	147	4,26	3,08	5,08	0,32
	889,7	125	4,06	2,70	5,24	0,53

*prędkość tarczy obłuskującej – hulling disk velocity (ω_x), liczba nasion – number of linseeds (n).

Przykłady fotografii uwolnionych liścieni oraz okrywy owocowo-nasiennej poddanych segmentacji w programie ImageJ cząsteczek przedstawia rysunek 2. Na przedstawionych fotografiach liścieni widoczne są liczne ubytki krawędzi tworzące nieregularną i nierówną linię obrysu cząsteczki. Fotografie okrywy owocowo-nasiennej ukazują również liczne ubytki fragmentów okrywy, które w efekcie tworzą nierówny i poszarpany obwód oderwanej łupiny. Przedstawione uszkodzenia liścieni i okrywy owocowo-nasiennej powstały na skutek uderzeń o wypustki wirującej tarczy oraz ścianki przestrzeni roboczej obłuskivacza.

Udział procentowy poszczególnych frakcji przedstawia rys. 3. Obłuskując nasiona lnu z prędkością tarczy wynoszącą $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ udział uwolnionych liścieni wynosił 9,5%, udział okrywy owocowo-nasiennej wynosił poniżej 7%, udział cząsteczek o średnicy poniżej 0,9 mm powstałych z nadmiernego rozdrobnienia części morfologicznych nasion również wynosił poniżej 7%. Nasion nieobłuskanych przy tej prędkości obrotowej tarczy było prawie 75%. Obłuskując nasiona lnu z prędkością wynoszącą około $\omega_l = 743,1 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ udział uwolnionych liścieni wynosił 21%, udział

okrywy owocowo-nasiennej wynosił 10%, a cząsteczek o wymiarach poniżej 0,9 mm wynosił 22%. Nasion nieobłuskanych przy tej prędkości obrotowej tarczy było 46%. Rozpartując udziały procentowe przy najwyższej prędkości kątowej tarczy jaką zastosowano w trakcie trwania badań należy zauważyć, że uwolnionych liścieni było 17%, okrywy owocowo-nasiennej 10%, cząsteczek o wymiarach poniżej 0,9 mm było 32%, a nasion które nie uległy obłuskaniu 38%. Równania regresji udziału poszczególnych frakcji uzyskanych podczas obłuskiwania przedstawia tabela 4.



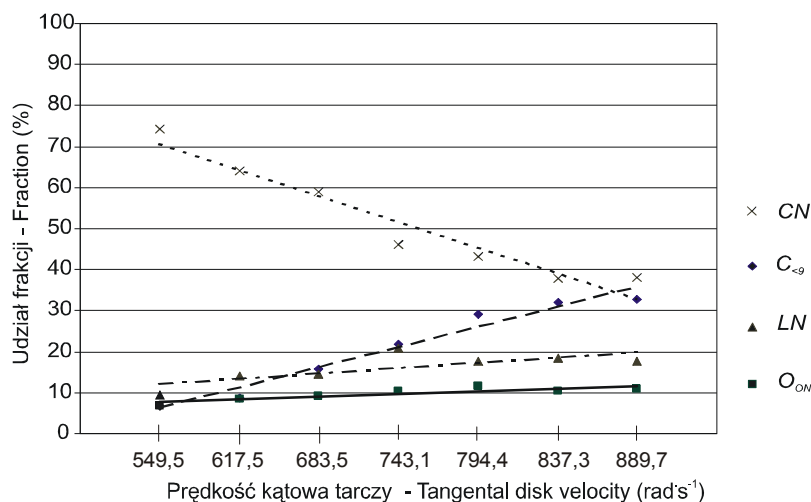
Rys. 2. Przykłady liścieni oraz okrywy owocowo-nasiennej po segmentacji fotografii próbek w programie ImageJ

Fig. 2. Examples of cotyledons and linseed coat after threshold function of photographs in ImageJ software

Tabela 4. Równania regresji udziału frakcji nasion lnu po obłuskiwaniu
Table 4. Regression equations of share of fractions of linseed after dehulling

Lp.	Frakcja nasion lnu Fractions of linseed	Równanie regresji Regression equation	R ²
1	CN	$y = -6,30 \cdot x + 76,95$	0,93
2	C _{<0,9}	$y = 4,92 \cdot x + 1,32$	0,96
3	LN	$y = 1,28 \cdot x + 10,96$	0,55
4	O _{ON}	$y = 0,66 \cdot x + 6,99$	0,75

Całe i częściowo uszkodzone nasiona – non-hulled linseeds and linseeds with partly detached seed coat (CN), cząsteczki o wymiarach poniżej 0,9 mm – particles below 0.9 mm in diameter (C_{<0,9}), liścienie – cotyledons (LN), okrywa owocowo-nasienna – seed coat (O_{ON}), prędkość kątowna tarczy – tangential disk velocity (x), frakcja nasion lnu – fraction of linseed (y).



Rys. 3. Udział frakcji nasion lnu poddanych obłuskiwaniu. Objaśnienia symboli jak w tabeli 4
Fig. 3. Share of fractions of linseed after hulling. For explanations of symbols see Table 4

WNIOSKI

1. Średnie pole powierzchni badanych nasion lnu, które nie uległy obłuskiwaniu, gdy tarcza obłuskująca wirowała z prędkością $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiło $7,44 \text{ mm}^2$ oraz gdy tarcza wirowała z prędkością $\omega_l = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ wynosiło $6,89 \text{ mm}^2$ i było od 44% do 56% większe od średniego pola powierzchni rzutu liścieni oraz okrywy owocowo-nasiennej.

2. Największy średni współczynnik kolistości posiadały nasiona lnu obłuskiwane z prędkością wirowania tarczy $\omega_l = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ i wynosił 0,69. Pozosta-

łe cząsteczki morfologiczne nasion obłuskowane z prędkością $\omega_1 = 549,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz $\omega_7 = 889,7 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ miały współczynnik kolistości od 0,46 do 0,55. Na tak małe wartości tego współczynnika może mieć wpływ wytrzymałość poszczególnych części morfologicznych na uderzenia powstałe w wyniku kontaktu z wirującą tarczą obłuskującą.

3. Z przeprowadzonych badań dla nasion o wilgotności około 6% wynika, że najwięcej uwolnionych liścieni uzyskano gdy tarcza obłuskująca obracała się z prędkością $\omega_4 = 743,1 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ i było ich ponad 20%.

4. Obłuskując nasiona lnu z prędkością obrotową tarczy powyżej $\omega_5 = 794,4 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ powstaje dużo nadmiernie rozdrobnionych cząsteczek części morfologicznych nasion, które stanowią 30% wszystkich uzyskanych frakcji. Cechy geometryczne uzyskanych frakcji nasion lnu po obłuskaniu mogą być przedmiotem dalszych badań nad optymalizacją procesu obłuskowania nasion lnu.

PIŚMIENNICTWO

- Anders A., 2003. Rapeseed coat removal using disks equipped with cylindrical blades. *Technical Sciences*, 6, 65-72.
- Anders A., 2005. Usuwanie okrywy owocowo-nasiennej z nasion gorczycy i rzepaku na obłuskowaczu tarczowym. *Acta Agrophysica*, 6 (3), 585-594.
- Anders A., 2007. Analiza obrazu jako metoda oceny skuteczności obłuskowania okrywy nasion gorczycy białej. *Acta Agrophysica*, 10(2), 263-271.
- Carter J.F., 1993. Potential of flaxseed and flaxseed oil in baked goods and other products in human nutrition. *Cereal Foods World*, 38(10), 753-759.
- Cerda A., Garcí'A-Fayos P., 2002. The influence of seed size and shape on their removal by water erosion. *Catena* 48, 293-301.
- Chen Z. Y., Ratnayake W. M. N., Cunnane S. C., 1994. Oxidative stability of flaxseed lipids during baking. *Journal of American Oil and Chemists Society*, 71, 629-632.
- Coskuner Yalcin, Karababa Ersan, 2007. Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Food Engineering*, 78, 1067-1073.
- Freeman T.P., 1995. Structure of flaxseed. In S. C. Cunnane & L. U. Thompson (Eds.), *Flaxseed in Human Nutrition* (pp. 11-21). Champaign, IL, AOCS Press.
- Green A. G., Marshall D. R., 1981. Variation for oil quantity and quality in flax seed (*Linum usitatissimum*). *Australian Journal of Agricultural Research*, 32(4), 599-607.
- Kemal Cagatay Selvi, Yunus Pinar, Elcin Yesiloglu, 2006. Some physical properties of linseed. *Biosystems Engineering*, 95 (4), 607-612.
- Konopka I., Kozirook 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.
- Mieszkalski L., Anders A., 2002. Wpływ parametrów konstrukcyjnych i kinematycznych tarcz obłuskowacza na skuteczność obłuskowania nasion rzepaku. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 1, 27-34.
- Mieszkalski L., 1999. Matematyczne modelowanie procesu obłuskowania nasion. *Rozprawy i monografie*. Wydawnictwo ART, Olsztyn.
- Oomah B. Dave, Mazza G., Kenaschuk E. O., 1996. Dehulling characteristics of flaxseed. *Food Science and Technology*, 29, 245-250.

- Oomah B. Dave, Mazza G., 1998. Fractionation of flaxseed with a batch dehuller. *Industrial Crops and Products*, 9, 19-27.
- Trevino J., Rodriguez M. L., Ortiz L. T., Rebole A., Alzueta C., 2000. Protein quality of linseed for growing broiler chicks. *Animal Feed Science and Technology*, 84, 15-166.
- Wojnar L., 2002. *Praktyka analizy obrazu*. PTS Kraków.
- Yun-Ling Zheng, Wiesenborn D. P., Tostenson K., Kangas N., 2005. Energy analysis in the screw pressing of whole and dehulled flaxseed. *Journal of Food Engineering*, 66, 193-202.

GEOMETRIC FEATURES OF MORPHOLOGICAL PARTS OF LINSEEDS AFTER DEHULLING

Andrzej Anders

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

Abstract. The paper presents effects of collisions between seeds and disk of hulling machine during the removal of seed coats of linseeds. The average linseed moisture was 6%. The average projection area of non dehulled linseeds at hulling disk velocity $\omega_f = 549.5 \text{ rad s}^{-1}$ amounted to 7.44 mm^2 . The average projection area of non dehulled linseed at hulling disk velocity $\omega_f = 889.7 \text{ rad s}^{-1}$ was 6.89 mm^2 . The biggest average circularity of linseed was obtained when hulling disk rotated at velocity $\omega_f = 549.5 \text{ rad s}^{-1}$ and amounted to 0.69. The greatest quantity of cotyledons was obtained for hulling disk velocity $\omega_f = 743.1 \text{ rad s}^{-1}$ and it amounted to more than 20%. The share of cotyledons after linseed dehulling at tangential disk velocity of $549.5\text{-}683.5 \text{ rad s}^{-1}$ amounted to 9.5-14.5%. The experiment showed that an increase in disk speed above $\omega_f = 794.4 \text{ rad s}^{-1}$ resulted in increasing content of crumbled particles of linseed, amounting to 30%.

Keywords: dehulling, hulling disk, linseed, geometric features