

Wpływ wilgotności na proces rozdrabniania nasion wyki ozimej

Ślawomir Gawłowski, Janusz Laskowski, Stanisław Skonecki, Adam Zdybel

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy,
ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin, e-mail: slawomir.gawlowski@up.lublin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę wpływu wilgotności na proces rozdrabniania nasion wyki ozimej. Badania wykonano na laboratoryjnym rozdrabniaczu bijakowym, stosując zmienną prędkość bijaków w zakresie 5000-7000 obr·min⁻¹. Poddana badaniom wyka doprowadzona została do sześciu poziomów wilgotności od 8 do 18%. Ocena wariancji wykazała istotny wpływ wilgotności na wskaźniki opisujące proces rozdrobnienia poszczególnych poziomów. Zależności pomiędzy badanymi cechami a wilgotnością nasion opisane zostały równaniami regresji.

Słowa kluczowe: wyka, rozdrabnianie, wilgotność, prędkość bijakowa.

WYKAZ OZNACZEŃ

E_{roz} – energia na rozdrabnianie próbki nasion [J],
 E_r – jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie [$J \cdot g^{-1}$],
 m_r – masa rozdrabnianej próbki [g],
 E_r – wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie [$J \cdot m^{-2}$],
 S_n – nowowytworzona powierzchnia powstała podczas rozdrabniania [m^2],
 d_m – średni wymiar cząstki [mm],
 h_i – średnia wartość przedziału klasowego [mm],
 P_i – ilość cząstek zatrzymanych na danym sicie [%],
 n – ilość zastosowanych sit,
 ρ – gęstość materiału [$kg \cdot m^{-3}$],
 w_z – wilgotność nasion [%].

WPROWADZENIE

Nasiona wyki, jak donoszą badania Archeologiczne w Europie, pojawiły się około 7000 lat temu. W XVIII wieku „czasach głodu” była jednym ze składników pokarmowych najbiedniejszych klas ekonomicznych. Podczas II wojny światowej w południowej Francji można było ją nabyć je-

dynie na „czarnym rynku”. Obecnie wyka uprawiana jest przede wszystkim na nasiona lub zielonkę w siewie oddzielnym lub w mieszance z innymi roślinami przeznaczonymi na paszę (żyto lub pszenica), poprawia także stanowisko dla roślin zbożowych w cyklu zmianowania. Nasiona wyki są bardzo cenną paszą i chętnie zjadaną przez zwierzęta monogastryczne i poligastryczne ze względu na delikatność i wysoką zawartość białka a w nim tioaminokwasów, a szczególnie metioniny [Ceglarek i in. 2007, Potkański i in. 1999].

Spożycie roślin strączkowych w krajach rozwijających się stale rośnie, w związku z tym uzasadnione wydaje się bardziej szczegółowe zidentyfikowanie ich składu i właściwości funkcjonalnych. Mogą mieć one bowiem korzystne oddziaływanie na organizm człowieka. Ponadto wzrasta zainteresowanie naturalną, mało przetworzoną żywnością. Dlatego, też produkty otrzymane z roślin strączkowych mogą być oferowane jako naturalna żywność, atrakcyjna pod względem sensorycznym, jak i funkcjonalnym [Gumienna i in. 2007].

Jednym z podstawowych procesów technologicznych przemysłu spożywczego jest rozdrabnianie (dezintegracja), które polega na zmniejszeniu liniowych rozmiarów materiałów stałych na części z zastosowaniem sił mechanicznych lub oddziaływań niemechanicznych [Łysiak 1998].

Jeżeli rozdrabnianiu poddawany jest materiał o dużych wymiarach cząstek, rozdrabnianie należy przeprowadzać w kilku etapach, aż do uzyskania wymaganego wymiaru cząstek. Właściwe rozdrobnienie surowców wpływa korzystnie na przebieg procesów granulowania, zwiększając jego wydajność i zmniejszając energochłonność [Golec, Kwiatkowski 1982]. Rozmiary cząstek jakie powstają podczas rozdrabniania wpływają na przebieg dalszych procesów, wydajność, energochłonność, jakość uzyskiwanych produktów oraz efektywność samej produkcji [Chachułowa, Skomłala 1997]. Trzeba mieć jednak na uwadze, to że w procesie rozdrabniania zużywa się znaczne ilości energii na dezintegracje cząstek,

przy czym nie jest to zależność liniowa i najczęściej opisuje się ją równaniem wykładniczym [Laskowski i in. 2005]. Jakość otrzymanego produktu zależna jest w głównej mierze od podatności materiału na rozdrobnienie, będącej najczęściej powiązaniem stopnia rozdrobnienia z energochłonnością procesu [Bieliński 1990]. Energochłonność tego procesu zależy od parametrów konstrukcyjnych rozdrabniacza, sposobu prowadzenia procesu oraz cech fizycznych nasion, a szczególnie od zawartości wody. Z dostępnych wyników badań wynika, że wraz ze wzrostem wilgotności zwiększają się nakłady jednostkowe energii rozdrabniania, szczególnie przy wykorzystaniu rozdrabniaczy bijakowych [Dziki 2007].

Z tego powodu problematykę rozdrobnienia wyki ozimej o zróżnicowanej twardości przedstawiono w niniejszej pracy.

METODYKA BADAŃ

Badania procesu rozdrabniania zostały zrealizowane na laboratoryjnym rozdrabniaczu bijakowym POLYMIX-Micro-Hammermill MFC. Urządzenie współpracowało bezpośrednio z komputerowym układem pomiarowym mocy czynnej prądu jednofazowego. Obszerna charakterystyka stanowiska pomiarowego przedstawiona została w opracowaniu Laskowskiego i Łysiaka [1997].

Materiał badawczy stanowiła wyka ozima z firmy „Dan-ko” hodowla Roślin Sp.z o.o.. Nasiona doprowadzono zostały do wilgotności 8; 10; 12; 14; 16; i 18 % ($\pm 0,2\%$) zgodnie z Polską Normą (PN-91/A-74010) i następnie zostały rozdrobnione przy zastosowaniu sita o wymiarze oczek 2 mm i pięciu poziomach prędkości obrotowej wirnika tj. 5000; 5500; 6000, 6500 i 7000 obr·min⁻¹. Pomiaru wykonano w pięciu powtórzeniach dla każdej prędkości i wilgotności nasion.

Dla rozdrobnionych próbek nasion określono skład granulometryczny młewa zgodnie z Polską Normą (PN-89/R-64798) co pozwoliło określić średni wymiar cząstki według wzoru [Brenland i in. 1997]:

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n h_i P_i}{100} \quad (1)$$

Jednostkowe nakłady energii rozdrabniania E_r wyznaczono ze wzoru:

$$E_r = \frac{E_{roz}}{m_r} \quad (2)$$

a wskaźnik podatności na rozdrabnianie E_f został wyznaczony jako iloraz energii pobranej podczas rozdrabniania i nowej powierzchni powstałej na skutek rozdrobnienia [Posner 1991]:

$$E_f = \frac{E_{roz}}{S_n} \quad (3)$$

Nowo wytworzona powierzchnia S_n która powstała podczas rozdrabniania wyznaczona została z wzoru:

$$S_n = \frac{6m_r}{\rho d_m} \quad (4)$$

gdzie: $\rho = 1300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ jest gęstością materiału.

WYNIKI BADAŃ

Uzyskane wyniki eksperymentalne poddane zostały analizie statystycznej wykorzystując do obliczeń program STATISTICA. Wykorzystano wieloczynnikową analizę wariancji ANOVA z interakcjami dla wszystkich cech. Otrzymane wyniki wykazały że główny czynnik tj. wilgotność wpływa istotnie na badane parametry procesu rozdrabniania nasion wyki ozimej. Dla analizowanych parametrów dokonano szczegółowych porównań w oparciu o test istotności Tukey'a na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Dokonano także oszacowań wartości składu granulometrycznego z uwzględnieniem średniej wielkości cząstki oraz określono zależności w postaci równań regresji. W przyjętym zakresie badań określono wartości średnie, błędy i odchylenia standardowe. Dla badanych prędkości bijaka (5000, 5500, 6000, 6500 i 7000 obr·min⁻¹) obliczony został także wskaźnik podatności na rozdrabnianie. W tabelach 1 ÷ 3 przedstawiono wyniki analizy wariancji natomiast w tabeli 4 równania regresji.

Wartości jednostkowe energii rozdrabniania zawierały się w przedziale od 21,20 J·g⁻¹ przy najmniejszej prędkości obrotowej bijaków do 141,78 J·g⁻¹ dla największej prędkości. Przeprowadzona analiza wyników pozwoliła stwierdzić że wraz ze wzrostem wilgotności oraz wzrostem prędkości bijaków, zwiększa się jednostkowe zużycie energii na rozdrabnianie.

Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie dla poszczególnych poziomów wilgotności nasion, przy zastosowaniu różnych prędkości rozdrabniania zostały przedstawione na rys. 1. Natomiast zależności jakie uzyskano z analizy wariancji zestawiono w tabeli 1.

Przeprowadzone jednowymiarowe testy istotności wariancji dla wskaźnika podatności nasion na rozdrabnianie pozwoliły stwierdzić że występują istotne różnice badanego parametru przy różnej wilgotności nasiona i prędkości bijaków (tabela 2).

Największe wartości wskaźnika podatności otrzymano przy 18% wilgotności nasion, a jedynie dla prędkości 7000 i 6500 obr·min⁻¹, gdzie wartość wahała się w granicach od 6,99 kJ·m⁻² przy najmniejszej prędkości obrotowej do 8,08 kJ·m⁻² dla najwyższej prędkości badanej. Na rys. 2 przedstawione zostały zależności pomiędzy wskaźnikiem podatności a wilgotnością dla pięciu wartości prędkości obrotowych. Wyniki analizy regresji przedstawione zostały w tabeli 4.

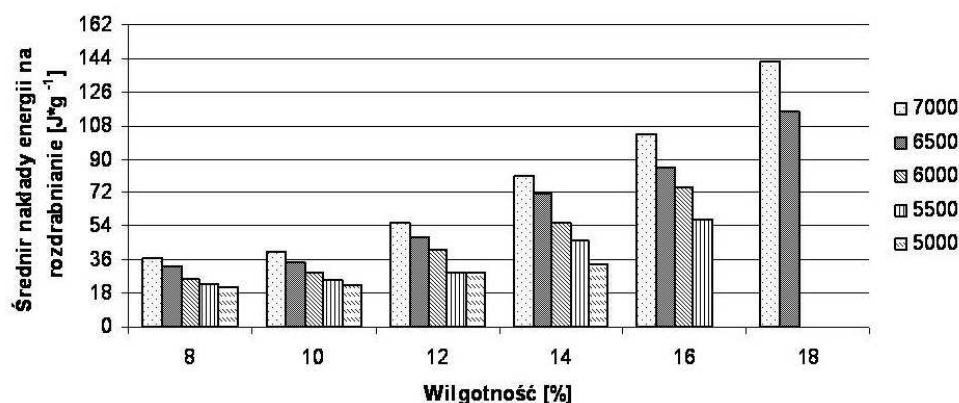
Analiza statystyczna wykazała istotne różnice uzyskanych wartości średniego wymiaru cząstki d_m tabela 3. Przeprowadzone badania wykazały, że wartość średniego wymiaru cząstek rośnie wraz ze wzrostem wilgotności ziarna od 8 do 12 %. Natomiast dalszy wzrost wilgotności od 14 do 18 % powodował spadek średniego wymiaru cząstki niezależnie od stosowanej prędkości bijakowej. Wartości średniego wymiaru cząstek zostały przedstawione na rys. 3.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy uzyskanych wyników można przedstawić następujące wnioski:

Tabela 1. Analiza wariancji dla jednostkowych nakładów energii na rozdrabnianie E_r
Table 1. Variance analysis for specific grinding energy E_r

Składniki analizy wariancji	Prędkość bijaków [obr·min ⁻¹]	SS	df	MS	F · 10 ²	p
Wyraz wolny – Intercept	7000	0,69	1	0,69	65,24	0
Wilgotność – Moisture content		0,16	5	0,03	3,14	0
Błąd standardowy		0,002	24	0,000		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	6500	0,51	1	0,51	6478,1	0
Wilgotność – Moisture content		0,1	5	0,2	261,8	0
Błąd standardowy		0,001	24	0,001		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	6000	0,2	1	0,2	1954,8	0
Wilgotność – Moisture content		0,02	4	0,007	70	0
Błąd standardowy		0,002	20	0,01		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	5500	0,13	1	0,13	5611,2	0
Wilgotność – Moisture content		0,01	4	0,004	185,2	0
Błąd standardowy		0,000	20	0,000		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	5000	0,05	1	0,05	3436,9	0
Wilgotność – Moisture content		0,002	3	0,001	45,4	0
Błąd standardowy		0,000	16	0,000		
Standard error						



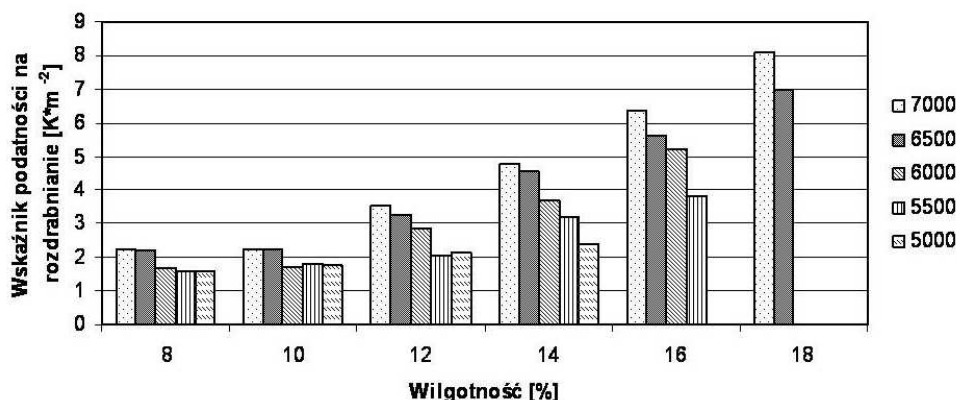
Rys. 1. Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r dla poszczególnych wilgotności nasiona.

Fig. 1. Specific grinding energy E_r for each moisture content

- Nasiona wyki są surowcem, który można rozdrabniać w zakresie wilgotności 8-18% stosując sito o wymiarze oczek 2 mm.
- Wraz ze wzrostem wilgotności rozdrobnionych nasion wyki ozimej stwierdzono spadek średniego wymiaru cząstki śruty, przy wilgotności nasion od 14 do 18%.
- Zwiększanie prędkości obrotowej bijaków powodowało uzyskiwanie śruty o drobniejszej granulacji.
- Wraz ze wzrostem wilgotności wyki ozimej od 8 do 18% jednostkowa energia rozdrabniania zwiększyła się o około 200%.
- Wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie zwiększał się wraz ze wzrostem prędkości obrotowej bijaków. Zależności takie stwierdzono przy każdym z rozpatrywanych poziomów zawartości wody w nasionach wyki ozimej
- Przeprowadzone badania wykazały, że wilgotność nasion wyki ozimej w znacznie większym stopniu wpływa na proces udarowego rozdrabniania niż zmiana prędkości obrotowej bijaków.

Tabela 2. Analiza wariancji dla wskaźnika podatności nasion na rozdrabnianie E_f **Table 2.** Ariance analysis for energy utilisation index E_f

Składniki analizy wariancji	Prędkość bijaków [obr·min ⁻¹]	SS · 10 ²	df	MS · 10 ²	F · 10 ²	p
	Wyraz wolny – Intercept	7000	6,24	1	6,24	20,65
Wilgotność – Moisture kontent	1,37		5	0,27	0,91	0
Błąd standardowy	0,07		24	0,003		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	6500	5,2	1	5,231	25,008	0
Wilgotność – Moisture kontent		0,9	5	0,189	0,904	0
Błąd standardowy		5	24	0,002		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	6000	2,313	1	2,313	9,02	0
Wilgotność – Moisture kontent		0,347	4	0,086	0,339	0
Błąd standardowy		0,051	20	0,002		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	5500	1,598	1	1,598	16,427	0
Wilgotność – Moisture kontent		0,177	4	0,044	0,455	0
Błąd standardowy		0,019	20	0,001		
Standard error						
Wyraz wolny – Intercept	5000	0,74	1	0,74	13,21	0
Wilgotność – Moisture kontent		0,02	3	0,008	0,15	0,000
Błąd standardowy		0,009	16	0,001		
Standard error						

**Rys. 2.** Wskaźnik podatności nasion na rozdrabnianie E_f dla poszczególnych wilgotności nasiona**Fig. 2.** Energy utilisation index E_f for each moisture content**Tabela 3.** Analiza wariancji dla średniego wymiaru cząstki d_m **Table 3.** Ariance analysis for mean particle size d_m

Składniki analizy wariancji	Prędkość bijaków [obr·min ⁻¹]	SS · 10 ⁻⁴	df	MS · 10 ⁻⁴	F · 10 ²	p · 10 ²
	Wyraz wolny - Intercept	7000	0,08	1	0,08	300
Wilgotność - Moisture kontent	0		5	0	0,04	0,882
Błąd standardowy	0		24	0		
Standard error						
Wyraz wolny - Intercept	6500	0,09	1	0,09	343,47	0
Wilgotność - Moisture kontent		0	5	0	0,03	1,12
Błąd standardowy		0	24	0		
Standard error						
Wyraz wolny - Intercept	6000	0,08	1	0,08	309,13	0
Wilgotność - Moisture kontent		0	4	0	0,02	6,71
Błąd standardowy		0	20	0		
Standard error						

Składniki analizy wariancji	Prędkość bijaków	SS · 10 ⁻⁴	df	MS · 10 ⁻⁴	F · 10 ²	p · 10 ²
	[obr·min ⁻¹]					
Wyraz wolny - Intercept	5500	0,08	1	0,08	329,47	0
Wilgotność - Moisture content		0	4	0	0,07	0,06
Błąd standardowy		0	20	0		
Standard error						
Wyraz wolny - Intercept	5000	0,07	1	0,07	290,4	0
Wilgotność - Moisture content		0	3	0	0,01	18,17
Błąd standardowy		0	16	0		
Standard error						

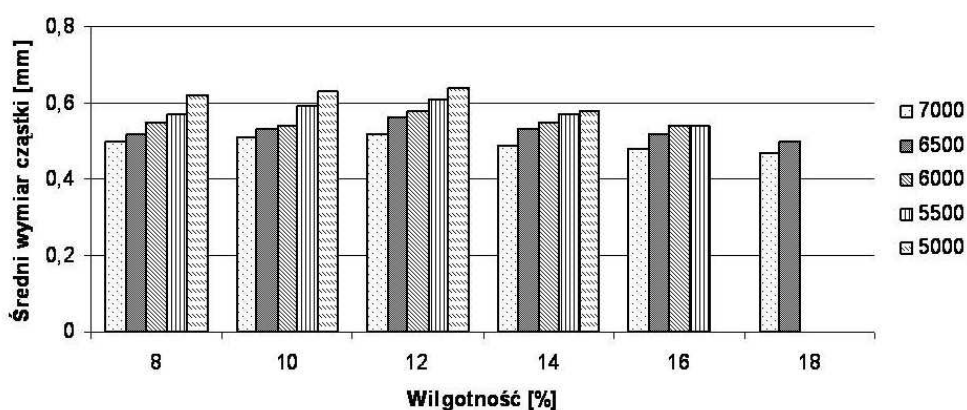
Rys. 3. Średni wymiar cząstki d_m dla poszczególnych wilgotności ziarnaFig. 3. Mean particle size d_m for each moisture content

Tabela 4. Zestawienie równań regresji i wartości współczynnika determinacji określających zależności pomiędzy parametrami procesu rozdrabniania wyki a wilgotnością

Table 4. Equations and determination coefficients expressing the relationships between some grinding features of vetch and moisture content

Badana cecha	Prędkość bijaków	Równanie – Equation	R ²
Determined characteristic	[obr·min ⁻¹]		
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r (J·g ⁻¹)	7000	$E_r = 0,979 \text{ wz } 2 - 14,98 \text{ wz} + 93,98$	0,97
Specific grinding energy E_r (J·g ⁻¹)			
Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie E_f (J·m ⁻¹)		$E_f = 0,023 \text{ wz } 2 + 0,285$	0,92
Energy utilisation index E_f (J·m ⁻¹)			
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r (J·g ⁻¹)	6500	$E_r = 0,323 \text{ wz } 2 + 6,797$	0,95
Specific grinding energy E_r (J·g ⁻¹)			
Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie E_f (J·m ⁻¹)		$E_f = 0,019 \text{ wz } 2 + 0,625$	0,92
Energy utilisation index E_f (J·m ⁻¹)			
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r (J·g ⁻¹)	6000	$E_r = 0,244 \text{ wz } 2 + 7,769$	0,89
Specific grinding energy E_r (J·g ⁻¹)			
Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie E_f (J·m ⁻¹)		$E_f = 0,017 \text{ wz } 2 + 0,453$	0,84
Energy utilisation index E_f (J·m ⁻¹)			
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r (J·g ⁻¹)	5500	$E_r = 0,634 \text{ wz } 2 - 10,77 \text{ wz} + 69,63$	0,96
Specific grinding energy E_r (J·g ⁻¹)			
Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie E_f (J·m ⁻¹)		$E_f = 0,012 \text{ wz } 2 + 0,701$	0,82
Energy utilisation index E_f (J·m ⁻¹)			
Jednostkowe nakłady energii na rozdrabnianie E_r (J·g ⁻¹)	5000	$E_r = 0,103 \text{ wz } 2 + 13,58$	0,82
Specific grinding energy E_r (J·g ⁻¹)			
Wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie E_f (J·m ⁻¹)		$E_f = 0,006 \text{ wz } 2 + 1,058$	0,68
Energy utilisation index E_f (J·m ⁻¹)			

LITERATURA

1. **Bieliński M.: 1990.** Rozdrabnianie tworzyw wtórnych w warunkach ciecicia quasi i technologicznego. OWSIMP, Częstochowa.
2. **Branland G., Feli I., Leblanc A., koening J., Bodet C., Mariot D., Mahaut B., 1997.** La dureté des blés sélectionnés en France evolution et consequences. Industries des Céréales, Nr 101, 5-10
3. **Ceglarek F., Rudziński R., Piąza 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.
4. **Chachułowa J., Skomłala J.: 1997.** Żywienie zwierząt i paszoznawstwo. SGGW Warszawa.
5. **Dziki D.: 2007.** Ocena energochłonności rozdrabniania ziarna pszenicy poddanego uprzednio zgniataniu. Inżynieria Rolnicza Kraków, 8(96), 51-58.
6. **Golec S., Kwiatkowski M.: 1982.** Ocena możliwości doskonalenia procesów technologicznych w przemysłowym przetwórstwie zbóż przeznaczonych na paszę pod kątem zmniejszenia ich energochłonności w warunkach krajowych. Sprawozdanie etapowe. Motycz.
7. **Gumienna M., Czarnecka M., Czarnecki Z.: 2007.** Zmiany zawartości wybranych składników żywności w produktach otrzymanych z nasion roślin strączkowych pod wpływem obróbki biotechnologicznej. Żywność. Nauka Technologia. Jakość. 6 (55), 159-169.
8. **Laskowski J., Łysiak G. 1997.** Stanowisko do badań procesu rozdrabniania surowców biologicznych. Po-
stępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego Nr. 1/2. s. 55-58.
9. **Laskowski J., Łysiak G., Skonecki S.: 2005.** Mechanical properties of granular agro-materials and food powders for industrial practice. Part II. Material properties for grinding and agglomeration. Institute of Agrophysics PAS, Lublin, 29-30.
10. **Łysiak G.: 1996.** Wpływ właściwości fizycznych surowców roślinnych na przebieg procesu rozdrabniania. Praca doktorska.
11. **Posner E. S., 1991.** Wheat and flour ash as a measurement of millability. Cereal food Word, 36(8), 626-629
12. **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.

INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT
ON GRINDING PROCESS OF FODDER
WINTER VETCH

Summary. The aim of the study was to analyze the influence of moisture content on grinding process of fodder winter vetch. The research was made using a laboratory hammer-mill at the velocity in the range of 5000-7000 rev·min⁻¹. Samples of corn kernels were conditioned to seven moisture levels from 8 to 18 %. The analysis of variance showed a significant effect of moisture on the indicators that describe the process of fragmentation of the individual level. The influence of kernel moisture on the analyzed parameters was described in the form of regression equations.

Key words: winter vetch, grinding, moisture, hammer velocity.