

## **ENERGOCHŁONNOŚĆ DYNAMICZNEGO PROCESU ŚCINANIA ZIARNA PSZENICY**

Leszek Romański, Roman Stopa

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań energochłonności dynamicznego ścinania ziarna 8 odmian pszenicy ozimej. Zaprezentowano sposób pomiaru tej energii oraz omówiono wpływ na jej wartość takich czynników jak: masa rozdrabnianego ziarna, wilgotność, zawartość białka i szklistość ziarna. Testy wykonywano przy dwóch różnych ułożeniach ziarna w stosunku do działającej siły ścinającej. Przy opracowywaniu uwzględniono również dwa poziomy nawożenia zboża.

**Słowa kluczowe:** ziarno pszenicy, ścinanie dynamiczne, energia

### **WSTĘP**

Najmniej energochłonnym procesem rozdrabniania ziarna zboża na paszę jest proces przeprowadzany w rozdrabniaczach walcowych. Podczas rozdrabniania w śrutownikach walcowych materiał jest rozcinany, łupany i rozcierany [Dmitrewski 1978], według Grochowicza [1996] zaś, zgniatany i rozrywany. Rozrywanie wynika ze stosowania różnej prędkości obracających się walców, które na swojej powierzchni mają nacięte rowki. W zależności od rodzaju rozdrabnianego surowca Taylor i Smith [1981] wyróżniają aż 10 podstawowych profili nacięć walców. W standardzie europejskim przyjęto takie wykonanie rowków, aby tworzyły je dwie prostopadłe (lub bliskie prostopadłości) płaszczyzny, z których jedna jest tzw. ostrzem rowka, a druga jego grzbietem [Dmitrewski 1978]. Kształt rowków jest niesymetryczny (niejednakowa wielkość kąta ostrza i grzbietu) i dlatego umożliwia stosowanie czterech rodzajów ustawienia walców. W przypadku produkcji śruty stosuje się najczęściej ustawienie tzw. ostrza na ostrze, gdyż wtedy następuje najbardziej intensywne rozdrabnianie zboża i uzyskuje się największy stopień rozdrobnienia produktu.

Zdaniem autorów, w tym przypadku wspomniane „rozrywanie” produktu sprowadza się praktycznie do oddziaływania na ziarno głównie wypadkowego obciążenia powstającego w wyniku sumowania się sił powodujących zgniatanie oraz ścinanie. Oddziaływaniem sił dynamicznych zgniatających na ziarno zajmował się Korpysz [1990] i Romański [1995], natomiast stan wiedzy na temat dynamicznego ścinania ziarna jest nie-

wielki. Problemem tym interesował się Flizikowski [1990], który ścinał ziarno w modelu rozdrabniacza wielotarczowego. Poddawane cięciu ziarno zbóż autor klasyfikował jedynie według gatunku, nie wnikając w ich odmiany, jak też w inne uwarunkowania.

Inni autorzy zajmowali się problemem związanym z uszkodzaniem nasion w wyniku działania obciążeń dynamicznych [Szołt i Kutzbach 1992, Siwiło i Wrona 1993, Ślipek i in. 1994, Tys i in. 1994, Łukaszuk i Laskowski 1995, Konieczna 1995, Fenyvesi i Bellus 1997]

Wydaje się więc, że badania dynamicznego ścinania pozwolą na pełniejszą analizę procesu rozdrabniania w śrutownikach walcowych i rozdrabniaczach wielotarczowych. Mogą też być podstawą do prowadzenia prac, w których wykorzystując zasad superpozycji, można będzie symulować proces rozdrabniania we wspomnianych urządzeniach.

Celem badań było określenie zależności zużycia energii przy dynamicznym ścinaniu ziarna w zależności od jego ułożenia w szczelinie roboczej, wilgotności i masy ziarna oraz stosowanego poziomu nawożenia. Zamierzano również określić istotność wpływu na energię zawartości białka w ziarnie i jego szklistości.

## MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono na stanowisku przedstawionym na rysunku 1. Głównym elementem roboczym urządzenia jest bijak zamontowany na końcu wahadła uderzeniowego. W wyniku testów wstępnych określono masę bijaka, która wynosiła 0,060 kg. Długość ramienia wahadła wykonanego z włókna węglowego wynosiła 0,50 m. Jego masę w formie masy zredukowanej zaczepiono umownie w środku bijaka. Miarą zużytej energii w czasie ścinania udarowego ziarna była różnica energii potencjalnej bijaka przed ( $L_p$ ) i po zniszczeniu ziarna ( $L_k$ ).

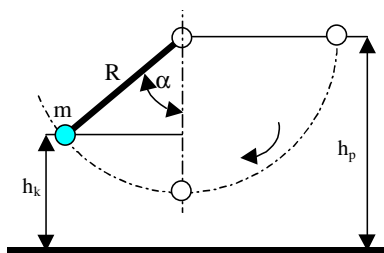
$$L = L_p - L_k \quad (1)$$

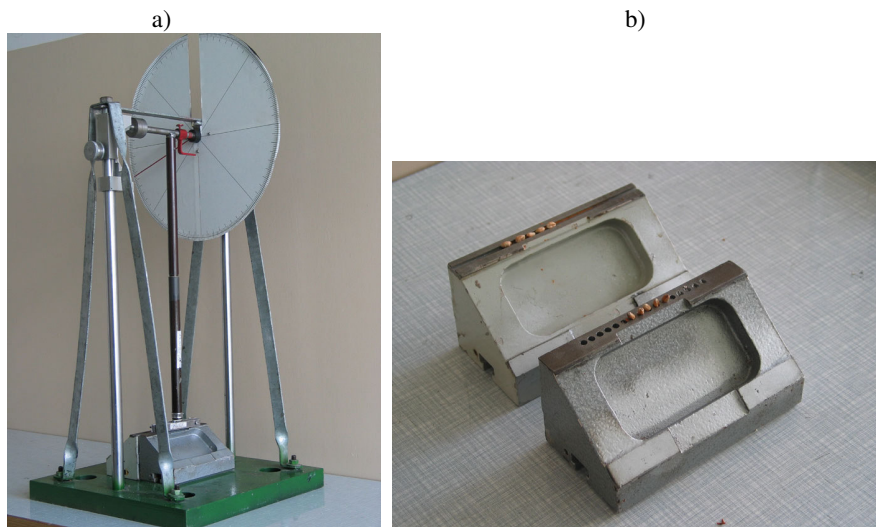
$$L = m \cdot g \cdot (h_p - h_k) \quad (2)$$

Po podstawieniu zależności trygonometrycznych

$$L = m \cdot g \cdot R \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

gdzie:  $m$  – masa bijaka  
 $g$  – przyspieszenie ziemskie  
 $h_p$  – wysokość początkowa bijaka  
 $h_k$  – wysokość końcowa bijaka  
 $R$  – ramię wahadła  
 $\alpha$  – kąt ścięcia ziarna





Rys. 1. Stanowisko badawcze: a) widok ogólny, b) kasety na ziarno  
 Fig 1. The test stand: a) general view, b) grain cartridges

Jak wynika z przedstawionego wzoru, dla określenia energii wystarczyło w czasie przeprowadzania testów ścinania dynamicznego dokonywać jedynie pomiarów kąta ścięcia ziarna  $\alpha$ . Aby to było możliwe, zastosowano wykorzystywany w konstrukcji młota Charpiego mechanizm wskazówkowy, który powodował zatrzymywanie się jej w miejscu maksymalnego wychylenia wahadła. W celu wyeliminowania strat energii związanych z przemieszczaniem wskazówki przez wahadło masa jej nie przekraczała 3% sumy masy ramienia i bijaka. Jednocześnie przed pomiarem ustawiano ją w położeniu na  $3-5^\circ$  przed planowanym maksymalnym wychyleniem ramienia wahadła. Odczyt kąta  $\alpha$  dokonywano z tarczy z naniesioną podziałką kątową. Dokładność pomiaru kąta wychylenia wahadła wynosiła  $1^\circ$ .

Zmianę prędkości uderzenia ziarna przez bijak realizowano poprzez zmianę wysokości, z której opuszczany był bijak. Jego prędkość obliczano ze wzoru:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_p} \quad (4)$$

Pomiar rozbicia ziarniaków przeprowadzono przy szczelinie 0,4 mm. W czasie każdej próby ścinanych było 8–10 szt. ziaren. Przed pomiarem ziarno umieszczane było w jednej z dwóch kaset (rys. 1b). W kasecie pierwszej wykonane były pionowe otworki, w które można było umieszczać ziarno tak, że połowa wystawała na zewnątrz i płaszczyzna cięcia przechodziła prostopadle do osi długiej ziarna przez jego środek. W kasecie drugiej zamiast otworków wykonany był podłużny rowek, co umożliwiało układanie w nim ziaren na brzusku. Płaszczyzna cięcia pokrywała się w tym przypadku z osią długą ziarna. Materiał do badań był wstępnie selekcionowany na sitach Vogla i następnie ważony. Testom poddawane było ziarno, którego masa wynosiła  $50 \pm 2,5$  mg.

Tabela 1. Podstawowe właściwości ziarna badanych odmian pszenicy ozimej  
Table 1. Basic grain properties of winter wheat varieties

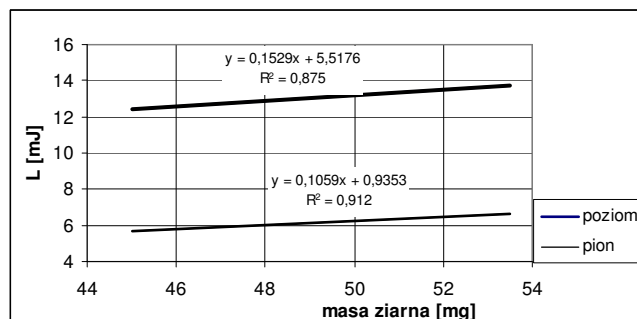
Poziom nawożenia Dose of fertilizer	Odmiana Variety	Masa usypowa Mass density, kg·m <sup>-3</sup>	MTZ Mass of 1000 st, mg	Szklistość Vitreosity, %	Białko Protein, %
Uprawa tradycyjna (90 N kg·ha <sup>-1</sup> ) Fertilizer	Elena	761,3	49,4	29,0	12,0
	Kobra	762,9	49,5	53,6	12,8
	Korweta	747,2	46,9	71,2	13,1
	Kris	753,5	46,2	41,2	12,2
	Zorza	761,6	47,1	90,3	12,0
	Zyta	780,6	51,2	37,3	13,8
Uprawa intensywna (120 kg·ha <sup>-1</sup> ) Fertilizer	Wanda	781,7	48,0		13,1
	Elena	773,2	52,7	50,2	12,8
	Kobra	772,6	48,4	69,6	13,8
	Korweta	761,4	52,8	92,25	14,7
	Kris	770,3	51,5	91,6	15,6
	Zorza	776,6	48,8	76,5	13,5
Zyta	778,8	47,5	64	14,5	
Wanda	798,0	53,8	91	15,0	

Badaniom poddano 7 odmian polskiej pszenicy ozimej. Każda z tych odmian była uprawiana przy dwóch poziomach nawożenia: uprawa tradycyjna – 80 kg N/ha, a uprawa intensywna – 120 kg N/ha. Odmiany te to: ‘Kobra’, ‘Korweta’, ‘Kris’, ‘Zorza’, ‘Zyta’, ‘Elena’, ‘Wanda’. W przypadku pierwszych pięciu odmian zmieniana była również ich wilgotność w przedziale 11,6–17,6% ze skokiem co 2%. Wilgotność ziarna określano metodą suszarkową zgodnie z PN-86/A-74011. Ilość białka oznaczano za pomocą Inframatica, szklistość ziarna zaś według PN-70/R-74008. Gęstość ziarna w stanie zsypanym określano opierając się na PN-73/R-74007. Masę tysiąca sztuk ziaren (MTZ) zgodnie z normą PN-68/R-74017. Podstawowe cechy badanego ziarna przedstawiono w tabeli 1.

## WYNIKI I DYSKUSJA

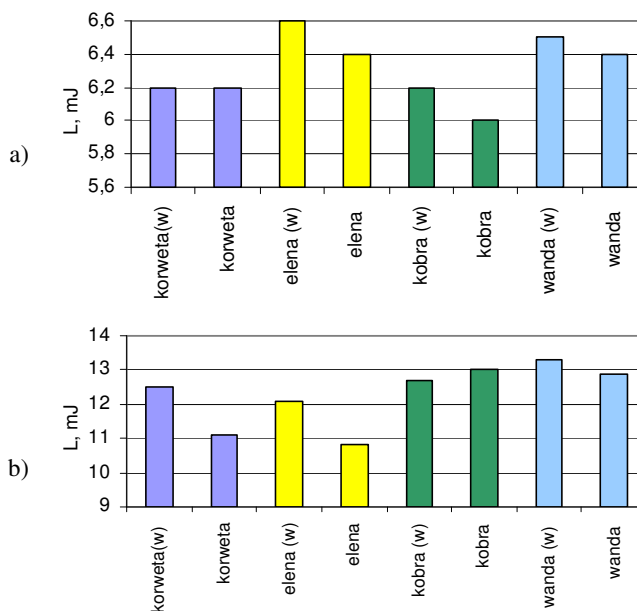
Przeprowadzony test analizy wariancji wieloczynnikowej (na poziomie  $\alpha = 0,05$ ) wykazał istotność wpływu takich czynników, jak: odmiana ziarna i jego masa, ułożenia (pozioma lub pionowa w stosunku do działającej siły), nawożenia i wilgotności ziarna – oraz ich wzajemnych interakcji na wartość energii dynamicznego ścinania ziarna pszenicy. Nie wykazano natomiast wpływu ścinania białka i szklistości ziarna na wartość tej energii. Występowanie tych czynników razem wydaje się logiczne, bo wcześniej Romański i Pawlak [2002] wykazali wzajemną korelację pomiędzy zawartością białka a szklistością ziarna ( $R^2 = 0,65-0,73$ ,  $n = 28$ ).

Zależność przedstawiona na rysunku 2 potwierdza bardzo wysoką korelację pomiędzy masą rozdrabnianego ziarna a energią dynamicznego ścinania i to niezależnie od tego, czy siła ścinająca działała prostopadle do osi długiej ziarna (na rysunku zaznaczono pion) czy równoległe (poziom). Zależność ta była do przewidzenia, gdy w analizie statystycznej wykazano brak istotnego wpływu na energię takiego czynnika charakteryzującego budowę ziarniaka, jakim jest białko.

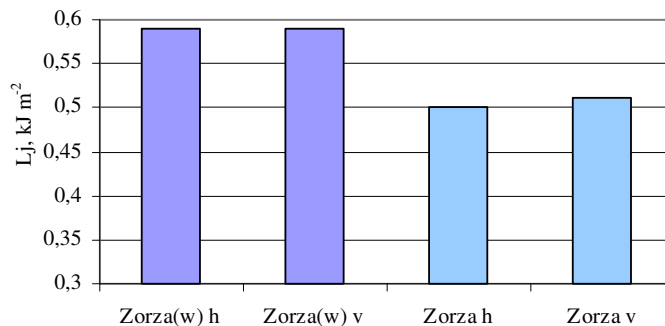


Rys. 2. Zależność energii ścinania dynamicznego od masy ziarna  
Fig. 2. Dependence of consumption energy of dynamic shearing on mass of grain

Wpływ poziomego nawożenia (uprawa tradycyjna i intensywna) na energię ścinania dynamicznego przedstawiono na rysunku 3. Na rysunku 3a wielkości te zestawiono dla przypadku, gdy cięcie odbywa się w płaszczyźnie prostopadłej do długiej osi ziarna (ułożenie ziarna pionowe), a na rysunku 3b w płaszczyźnie równoległej (ułożenie poziome).

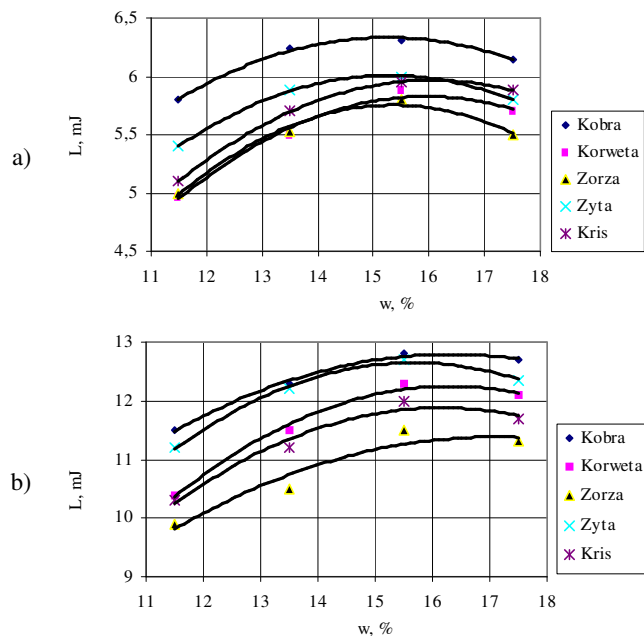


Rys. 3. Histogram energii dynamicznego ścinania ziarna pszenicy: a) ułożenie ziarna pionowe, b) poziome (w – wysoko stopień nawożenia). Masa ziarna  $50 \pm 2,5$  mg, wilgotność 13,6%  
Fig. 3. Energy histogram of dynamic shearing of the wheat's grain: a) perpendicular position of grains, b) horizontal; (w – high dose of fertilizer). Mass grain  $50 \pm 2.5$  mg, moisture 13.6%



Rys. 4. Histogram jednostkowej energii dynamicznego ścinania ziarna pszenicy. Ułożenie ziarna poziome (h) i pionowe (v); masa ziarna  $50 \pm 2,5$  mg, wilgotność 13,6%, (w – wysoki poziom nawożenia)

Fig. 4. Specific energy consumption histogram of dynamic shearing of the wheat's grain. Horizontal position of grain (h) and perpendicular (v); mass grain  $50 \pm 2,5$  mg, moisture 13.6%; (w – high dose of fertilizer)



Rys. 5. Zależność energii dynamicznego ścinania różnych odmian ziarna pszenicy od jej wilgotności: a) ułożenie ziarna pionowe, b) poziome; masa ziarna  $m = 50 \pm 2,5$  mg

Fig. 5. Dependence of energy consumption of varieties wheat grain on its moisture: a) vertical position of grain, b) horizontal position; mass of grain;  $m = 50 \pm 2.5$ mg

Tabela 2. Funkcje opisujące zależność energii dynamicznego ścinania od wilgotności ziarna  
 Table 2. Describing functions for cutting energy consumption dependence on grain moisture

Ułożenie ziarna Position of grain	Odmiana pszenicy Variety	Postać funkcji Function	R <sup>2</sup>
Pionowe Horizontal	Kobra	$L = -0,04 x^2 + 1,14 x - 2,38$	0,98
	Korweta	$L = -0,04 x^2 + 1,41 x - 5,46$	0,86
	Kris	$L = 0,04 x^2 + 1,34 x - 4,81$	0,93
	Zorza	$L = -0,04 x^2 + 1,41 x - 5,45$	0,87
	Zyta	$L = -0,04 x^2 + 1,30 x - 3,91$	0,91
Poziome Vertical	Kobra	$L = -0,06 x^2 + 1,83 x - 2,19$	0,88
	Korweta	$L = -0,08 x^2 + 2,64 x - 8,08$	0,86
	Kris	$L = 0,04 x^2 + 2,65 x - 9,38$	0,93
	Zorza	$L = -0,04 x^2 + 2,42 x - 7,71$	0,89
	Zyta	$L = -0,04 x^2 + 2,42 x - 7,20$	0,90

Praktycznie w każdym przypadku wraz ze wzrostem poziomu nawożenia rejestruje się wzrost zapotrzebowania energii potrzebnej do przecięcia ziarna.

To, że w przypadku ułożenia poziomego energia ścinania jest większa wydaje się oczywiste, bo jest większa powierzchnia przekroju ścinanego ziarna. Aby przekonać się, czy przyrost energii jest proporcjonalny do otrzymanej powierzchni przekroju poprzecznego ziarna, wartość energii odniesiono do przecinanych przekrojów. Na rysunku 4 zestawiono histogram, na którym przedstawiono energochłonność procesu cięcia ziarna w dwóch różnych płaszczyznach i przy różnym poziomie nawożenia. Należy zauważyć, że przy podobnym nawożeniu niezależnie od ułożenia ziarna w czasie cięcia energia jednostkowego ścinania była na tym samym poziomie. W przypadku ziarna uprawianego intensywnie wynosiła ona 0,58 kJ/m<sup>2</sup>, a przy uprawie tradycyjnej 0,50 kJ/m<sup>2</sup>, czyli mniej o 12%. Z tabeli 1 wynika, że ziarno pszenicy 'Zorza' uzyskane w wyniku wyższego nawożenia charakteryzuje się o 1,5% większą zawartością białka surowego (przy uprawie tradycyjnej wynosi 11,97%). Można, więc sądzić, że większa wytrzymałość ziarna związana jest ze wzrostem tego białka. Analiza statystyczna nie potwierdza jednak tej sugestii.

Zależność energii ścinania od wilgotności ziarna przedstawiono na rysunku 5. W przypadku ziarna ułożonego pionowo w czasie cięcia energia ścinania rośnie wraz ze wzrostem wilgotności i wartość maksymalną osiąga w zakresie wilgotności względnej 15–16%. Przy dalszym wzroście wilgotności wartość energii maleje.

Przy ścinaniu ziarna, które znajduje się w pozycji horyzontalnej (poziomej) w stosunku do przemieszczającego się białka zakres wilgotności, przy której wystąpi największe zapotrzebowanie energii, przesuwa się do przedziału 16–17%. Warto zauważyć, że podobną prawidłowość obserwował Romański i Niemiec [2000, 2001] podczas rozdrabniania ziarna pszenicy w gniotowniku walcowym. W obu przypadkach zależność można opisać równaniami wielomianu kwadratowego (tab. 2 i 3), dla których współczynnik determinacji R<sup>2</sup> zawarty jest w przedziale 0,82–0,98.

## WNIOSKI

1. Pomiedzy energią potrzebną do dynamicznego ścinania ziarna pszenicy a jego masą występuje bardzo wysoka korelacja i to niezależnie od tego, czy siła ścinająca działa prostopadle czy wzdłuż osi długiej ziarna.
2. Poziom nawożenia w sposób istotny wpływa na energochłonność ścinania ziarna i w stosunku do ziarna otrzymanego w wyniku uprawy tradycyjnej jest to wzrost o około 15%.
3. Wartość energii jednostkowej dynamicznego ścinania ziarna nie zależy od kierunku działania siły ścinającej.
4. Maksymalne zapotrzebowanie energii przy ścinaniu rejestruje się wtedy, gdy wilgotność ziarna odpowiada przedziałowi 15–17%.

## PIŚMIENNICTWO

- Dmitrewski J., 1978. Mechanizacja przygotowania pasz, PWRiL, Warszawa.
- Fenyvesi L., Bellus Z., 1997. Relationships between individual and aggregation characteristics of some agricultural materials. Hung. Agricult. Eng. 10, 51–53.
- Flizikowski J., 1990. Obciążenia rozdrabniające nasiona zbóż w warunkach quasi-ścinania. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. 4, 5–8.
- Grochowicz J., 1996. Technologia produkcji mieszanek paszowych. PWRiL, Warszawa.
- Konieczna M., 1995. Wpływ kontrolowanego obciążenia mechanicznego i sztucznego suszenia na makro uszkodzenia i jakość biologiczną nasiona bobiku. Zesz. Nauk. AR Wrocław. Mech. Rol. III, 258, 28–35.
- Korpysz K., 1990. Badania procesu rozdrabniania ziarna w gniotowniku walcowym. Praca doktorska. SGGW, Warszawa.
- Łukaszuk J., Laskowski J., 1995. Stanowisko do badań ziarna w warunkach obciążeń dynamicznych. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. 424, 328–332.
- Romański L., 1995. Badania rozdrabniaczy dwuwalcowych w aspekcie zużycia energii i zawartości frakcji pylistej w śrucie. Inż. Rol. 5, 361–365.
- Romański L., Niemiec A., 2000. Badanie wpływu wilgotności ziarna wybranych gatunków zbóż na energię rozdrabniania w gniotowniku modelowym. Inż. Rol. 9, 255–251.
- Romański L., Niemiec A., 2001. Badanie wpływu wilgotności ziarna pszenicy na energię rozdrabniania w gniotowniku modelowym. Acta Agrophysica 46, 153–158.
- Romański L., Pawlak T., 2002. Sprężystość i wartość naprężeń niszczących ziarno pszenicy. Inż. Rol. 5, 275–281.
- Siwiło R., Wrona T., 1993. Dynamic load effect on quality of sedes. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. 399, 203–207.
- Szot J., Kutzbach H., 1992. Rapeseed damage as influence by the dynamic load. International Agrophysics. Vol 6, 1, 103–114.
- Ślipek Z., Żłobecki A., Frączek J., 1994. Metoda oceny uszkodzalności ziarna przy obciążeniach wielokrotnych. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. 415, 123–127.
- Taylor J., Smith R., 1981. Roller mills (current state of the industry). ASAE Paper 8, 81–3027, St. Joseph, Mi.
- Tys J., Szwed G., Malicki A., 1994. Method of estimation of permissible impact energy for rapeseed. International Agrophysics 8, 2, 367–376.



## **ENERGY CONSUMPTION OF WHEAT GRAIN DURING SHEARING DYNAMIC PROCESS**

**Abstract.** The results of investigations on energy consumption of wheat grain during shearing dynamic process for eight variety of winter wheat were introduced. The method of energy measurement has been presented. Influence of mass of crumbled grain, his moisture content the proteins and vitreousity of grain for energy consumption was talked. Tests for two different positions of grain in relation to shearing force directions were made. Two levels of fertilization were taken under consideration during preparing this paper.

**Keywords:** wheat grain, shears dynamic process, energy

*Leszek Romański, Roman Stopa, Instytut Inżynierii Rolniczej Akademii Rolniczej we Wrocławiu, 51-630 Wrocław, ul. Chelmońskiego 37/41, tel. (+48 71) 320 57 25, e-mail: romanski@imr.ar.wroc.pl*