

POMIAR I ANALIZA IMPULSU UDERZENIA NASION
RZEPAKU JAREGO

Grzegorz Szwed¹, Josef Pecen², Stanisław Sosnowski³

¹Institut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

²Czech University of Agriculture, ul. Kamýcká 129; 165 21 Prague-Suchdol

³Wyższa Szkoła Inżynieryjno-Ekonomiczna
ul. A. Mickiewicza 10, 39-100 Ropczyce
e-mail: gszwed@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. Praca zawiera opis stanowiska pomiarowego do określania współczynnika restytucji nasion rzepaku. Współczynnik restytucji jest jedną z fizycznych cech nasion rzepaku, która charakteryzuje ich zachowanie podczas oddziaływania sił uderowych. Sześć odmian nasion rzepaku poddano badaniom uderowym dla porównania wartości mierzonych cech pomiędzy odmianami. Stwierdzono jedynie duże zróżnicowanie pomiędzy czasem deformacji a wartościami siły maksymalnej.

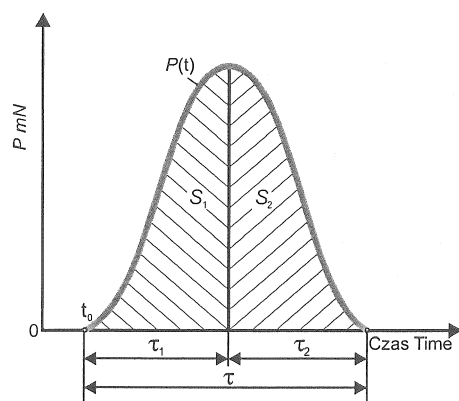
Słowa kluczowe: rzepak, współczynnik restytucji, uderzenie, impuls siły

WSTĘP

Proces uderzenia charakteryzuje się nagłym zetknięciem dwóch ciał i występowaniem sił chwilowych oddziaływań, które stają się źródłem intensywniej fali naprężeń. Fala ta rozprzestrzenia się po całej objętości zderzających się ciał i w efekcie w teoretycznym ujęciu zagadnienia wyodrębniamy tzw. efekty lokalne, które powstają w obszarze bliskim miejsca styku, a które dość istotnie różnią się od zjawisk w ciałach występujących w punktach oddalonych od tego miejsca. W związku z tym w procesie zderzenia mamy do czynienia z odkształceniami lokalnymi i ogólnymi [3]. Jeżeli siła chwilowa $P(t)$ pojawia się w chwili $t = t_0$ i działa przez czas τ , to wielkość wektora:

$$\int_{t_0}^{t_0+\tau} P(t) dt = S \quad (1)$$

nazywamy impulsem lub popędem siły chwilowej. Moduł wektora S określany jest polem pod krzywą, obrazującą przebieg czasowy siły $P(t)$ (rys.1).



Rys. 1. Przebieg siły P w czasie impulsu. S_1 , S_2 – impulsy siły, τ_1 – czas deformacji, τ_2 – czas odbicia, τ – czas trwania impulsu

Fig. 1. Instantaneous force P during impact. S_1 , S_2 – impulse of force, τ_1 – time of deformation, τ_2 reflection time, τ – collision time

Proces zderzenia można podzielić na dwie fazy. Pierwsza faza charakteryzuje się monotonicznym wzrostem siły chwilowej i narastaniem odkształceń. Są to odkształcenia najpierw lokalne, powstające w miejscu zetknięcia się ciał oraz ogólne, obejmujące stopniowo swym zasięgiem całą objętość zderzających się ciał. Stan ten trwa do chwili $t = \tau_1$, w której zarówno siła chwilowa, jak i lokalne odkształcenia osiągają wartość największą i następuje to w tzw. chwili środkowej zderzenia (w przypadku ciał sprężystych).

Następująca potem druga faza charakteryzuje się spadkiem wartości siły chwilowej do zera i zanikiem odkształceń ogólnych i lokalnych. Te ostatnie mogą zniknąć całkowicie lub tylko częściowo, o ile w obszarze jednego ze zderzających się ciał wyężenie materiału przekroczyło wartość graniczną [6,8]. Czas trwania drugiej fazy wynosi $t = \tau_2$.

Impulsy siły chwilowej w obu fazach oznaczymy odpowiednio S_1 i S_2 , wobec czego impuls całkowity $S = S_1 + S_2$. Dla scharakteryzowania stopnia sprężystości zderzenia Newton wprowadził tzw. współczynnik restytucji R . Jest to ułamek właściwy, który wskazuje, jaka część impulsu pierwszej fazy zderzenia zostaje odzyskana w fazie drugiej to znaczy:

$$R = S_2 / S_1 \quad (2)$$

Jeżeli przebieg czasowy siły chwilowej w drugiej fazie jest zwierciadlanym odbiciem przebiegu czasowego w pierwszej fazie, to $S_2 = S_1$, zatem $R = 1$, ma to

miejsce wówczas, gdy odkształcenia lokalne i ogólne są wyłącznie sprężyste i zderzeniu nie towarzyszą żadne straty energii kinetycznej zderzających się ciał (zderzenia sprężyste).

Drugi skrajny przypadek stanowi zderzenie niesprężyste (często w technice nazywane zderzeniem plastycznym), przy którym ciała doznają wyłącznie odkształceń trwałych (utrata spójności tkanek nasion, wzajemne przemieszczania składników budowy wewnętrznej, odkształceń plastycznych ciał krystalicznych i bezpostaciowych), a więc nie znikających mimo tego, że siłą chwilowa zmalała do zera. Przy zderzeniu niesprężystym istnieje tylko pierwsza faza, czyli $S_2 = 0$, a więc i $R = 0$. W literaturze często podaje się inny wzór na obliczenie współczynnika restytucji zastępując impulsy prędkościami normalnymi:

$$R = V_2 / V_1, \quad (3)$$

gdzie: V_1 i V_2 oznaczają prędkości ciała przed i po uderzeniu.

W warunkach rzeczywistych mamy zawsze do czynienia z przypadkami pośrednimi, czyli z tzw. zderzeniem sprężysto-niesprężystym, dla których $0 < R < 1$. Podczas zderzenia następuje wymiana pędów ciał, czemu towarzyszy przechodzenie jednej formy energii w drugą. Ponadto część energii kinetycznej ciał zostaje nieodwracalnie zużyta na pracę odkształceń niesprężystych (uszkodzenia tkanek, tarcie przemieszczających się składników budowy strukturalnej) oraz drgania (hałas).

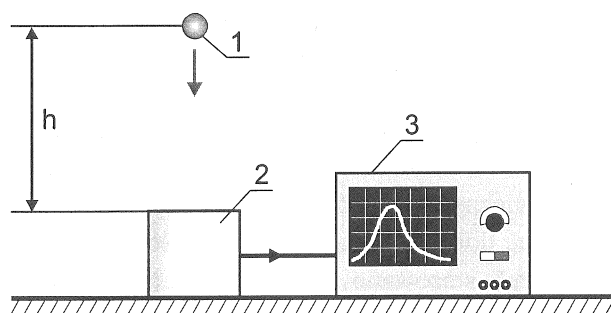
Badaniami mechanicznymi płodów rolnych zajmowało się od lat wielu autorów. Najwięcej prac dotyczy badań wytrzymałościowych statycznych, gdzie w zależności od potrzeb stosowano różnego rodzaju metody i środki badań. Badania dynamiczne, oceniające właściwości nasion są mniej rozpowszechnione i mają swoją krótszą historię. Wynika to z ograniczonej ilości rozwiązań teoretycznych w dostępnej literaturze oraz trudności w opracowaniu metodyk i zbudowaniu odpowiedniej aparatury. Większość prac słusznie traktuje procesy udarowe za najbardziej interesujące, gdyż na skutek oddziaływań sił pochodzenia dynamicznego mamy do czynienia w większości przypadków w ciągu technologicznym od zbioru do przerobu nasion. Dotyczą one głównie nasion roślin zbieranych kombajnem, jak ziarna zbóż [11,12,14], nasion rzepaku [9,10,13], czy też roślin strączkowych [7]. Efektem końcowym cytowanych badań było określenie zależności: energia uderzenia – liczba uszkodzeń. Odrębną grupę prac stanowią badania określające charakterystyki dynamiczne nasion przeprowadzonych na podstawie czasowego przebiegu siły zderzenia [1,2,3,4].

Przeprowadzone badania miały na celu przeanalizowanie czasowego przebiegu impulsu siły chwilowej w wyniku uderzenia nasion różnych odmian rzepaku jarego

o przeszkodę oraz na podstawie otrzymywanych impulsów siły chwilowej w czasie trwania uderzenia obliczenie wartości niektórych charakterystyk dynamicznych.

MATERIAŁ I METODA BADAŃ

Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych w Katedrze Fizyki Uniwersytetu Rolniczego w Pradze. Stanowisko pomiarowe (rys. 2) wyposażone było w czujnik piezoelektryczny typ 9213 (0-2500 N) połączonego z oscyloskopem *Le Cray 93 104/400 MHz* produkcji szwajcarskiej. Czujniki piezoelektryczne oparte są na znanym zjawisku powstawania ładunków elektrycznych na ścianach pewnych ciał krystalicznych przy działaniu na nie sił ściskających lub rozciągających. Bezinercyjność efektu piezoelektrycznego i wysoka częstość drgań własnych płytek kryształów powoduje, że czujniki piezoelektryczne doskonale nadają się do wszelkich pomiarów szybkich procesów mechanicznych, szczególnie związanych z uderzeniami.



Rys. 2. Schemat blokowy układu pomiarowego siły i czasu zderzenia 1 – nasienie rzepaku, 2 – czujnik piezoelektryczny, 3 – oscyloskop cyfrowy

Fig. 2. The flow of the measuring equipment force and time of collision 1 – rapeseed, 2 – piezoelectric converter, 3 – digital oscilloscope

Materiałem badawczym były nasiona rzepaku jarego: Bolero, Heros, Licosmos, Margo, Sponsor i Star. Nasiona poddano odpowiednim zabiegom i odpowiedniej selekcji w celu wyrównania i doprowadzenia ich wilgotności do poziomu wilgotności równoważnej (6,8%) oraz wyselekcjonowanie nasion każdej odmiany w taki sposób, aby nasiona biorące udział w badaniach posiadały zbliżoną do siebie masę, niezależnie od odmiany. Doświadczenie polegało na tym, że na gładką metalową powierzchnię przetwornika spadało nasienie rzepaku z wysokości 0,66 m. Starano się tak prowadzić doświadczenie, aby nasienie podczas spadania poruszało się ruchem postępowym. Aparatura pomiarowa umożliwiała rejestrowanie na dyskietce każdy wytworzony impuls powstający w wyniku uderzenia nasienia

o przetwornik. Dla każdej odmiany rzepaku wykonano po 15 uderzeń. Zarejestrowany na oscyloskopie przebieg napięcia (odpowiadającego sile) był przenoszony na dysk komputera i poddawany obróbce z wykorzystaniem programu *Grapher* oraz *Mathcad 2000*. W programie *Grapher* następowało wyznaczenie wielomianu opisującego otrzymany przebieg oraz jego aproksymację, natomiast program *Mathcad 2000* wykorzystano do całkowania otrzymanego wielomianu w określonych przedziałach czasowych i obliczania stosunku pól S_2 do S_1 (współczynnik restytucji R). Obróbka danych w oparciu o wymienione programy przebiegała na terenie Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań opisujące zachowanie się nasion rzepaku w wyniku obciążeń udarowych przedstawiono na rysunkach 3-5 oraz w tabelach 1 i 2. Obliczona wartość współczynnika restytucji R wykazuje mniejsze zróżnicowanie w wartościach średnich między odmianami, większe zaś (sięgające 30%) dla grupy nasion każdej z odmian. W założonym doświadczeniu z całą pewnością należy przyjąć, że na wyniki pomiarów wartości współczynnika restytucji nie mają wpływu uszkodzenia nasion wynikające z energii uderzenia, bądź ich trwałe odkształcenie, lecz są one skutkiem rozproszenia energii w nasieniu oraz przypadków uderzenia mimośrodowego. Największe wartości mierzonego wskaźnika zauważono u nasion rzepaku odmiany Star (rys. 3), a najmniejsze u nasion odmiany Bolero. Należy domniemywać, że nasiona rzepaku odmiany Star są bardziej zróżnicowane w swojej budowie od pozostałych nasion.

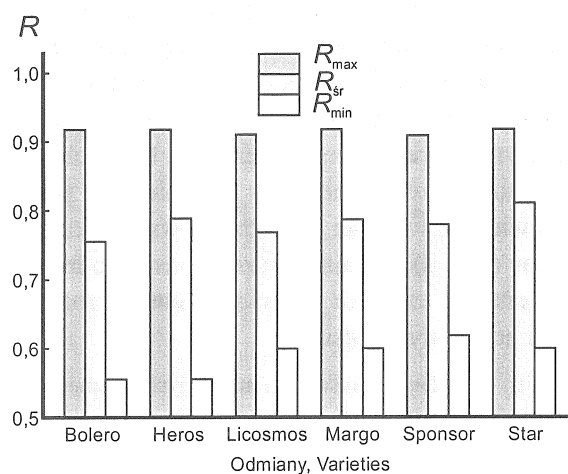
Tabela 1. Wartości średnie i odchylenia standardowe mierzonych parametrów

Table 1. Mean values of measured parameters

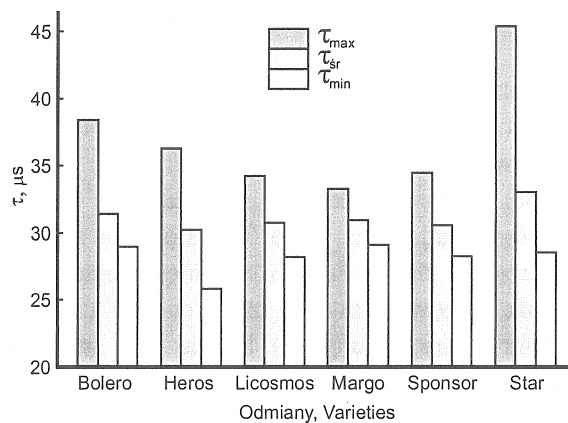
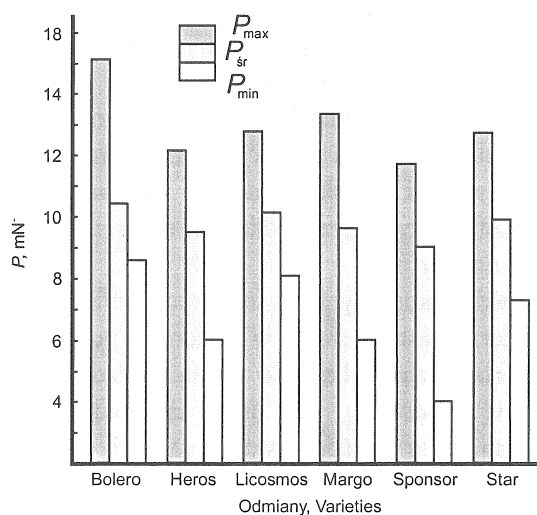
Parametry Parameters	Odmiany rzepaku jarego Varieties of spring raps					
	Bolero	Heros	Licosmos	Margo	Sponsor	Star
Współczynnik restytucji R Restitution coefficient	0,76±0,1	0,79±0,11	0,77±0,09	0,79±0,09	0,78±0,08	0,81±0,08
Czas impulsu τ Impact time (μ s)	32,02±2,29	30,8±2,46	30,96±1,78	31,14±1,27	30,95±1,91	32,20±3,94
Wartość maks. siły P Values of force (mN)	10,5±1,8	9,5±1,8	10,3±1,4	9,7±1,7	9,0±1,8	9,9±1,9

Tabela 2. Korelacja i regresja liniowa**Table 2.** Coefficient values of correlation and regression

Funkcja Function	Parametry Parameters	Odmiany rzepaku jarego Varieties of spring raps					
		Bolero	Heros	Licosmos	Margo	Sponsor	Star
$R = f(\tau)$	A	31,91	32,4	31,67	44,06	44,20	44,10
	B	0,14	-3,28	-0,93	-3,68	-14,32	-14,68
	r	0,10	-0,16	-0,05	-0,27	-0,65	-0,32
$R = f(P)$	A	0,30	0,91	1,25	1,04	1,65	1,84
	B	0,97	0,04	-0,29	-0,89	-0,95	-1,04
	r	0,56	0,02	-0,20	-0,50	-0,44	-0,47

**Rys. 3.** Współczynnik restytucji R dla badanych nasion odmian rzepaku**Fig. 3.** Restitution coefficient R for investigated varieties of rape seeds

Rysunki 4 i 5 przedstawiają pozostałe składniki przebiegu impulsu uderzenia: czas trwania uderzenia τ oraz maksymalna siła uderzenia P dla badanych nasion (rys. 4). I w tych przypadkach również widać pewne zróżnicowanie w uzyskanych wartościach wyników, pomimo porównywalnej energii uderzenia. Największy czas styku nasienia z przeszkodą w czasie uderzenia odnotowano dla nasion rzepaku odmiany Star i zarazem u tej odmiany wystąpiło największe zróżnicowanie w próbie. Największa siła uderzenia występowała podczas uderzenia u nasion rzepaku odmiany Bolero (rys. 5).

Rys. 4. Czas trwania zderzenia τ dla nasion badanych odmian rzepakuFig. 4. Collision time τ for investigated varieties of rape seedsRys. 5. Wartość siły maksymalnej P dla nasion badanych odmian rzepakuFig. 5. Maximal force P for investigated varieties of rape seeds

Opracowane statystycznie wyniki przebiegu impulsu wykazują, że największa zależność między współczynnikami restytucji R i przebiegiem czasowym siły chwilowej τ występuje podczas uderzenia nasion rzepaku odmiany Sponsor i Star, a najmniejsza dla nasion odmiany Bolero i Licosmos. W przypadku zaś analizy zależności współczynnika korelacji między wartościami współczynnika restytucji R i maksymalną siłą zderzenia P , największa korelacja występuje również dla nasion odmiany Sponsor, Star oraz Bolero (tab. 2).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Według pierwotnych wyobrażeń, sugerowanych jeszcze przez Newtona, współczynnik restytucji miał być stałą materiałową niezależną od warunków uderzenia, a więc właściwą danej parze materiałów, z których wykonane są zderzające się ciała. Późniejsze badania wykazały, że współczynnik ten zależy również od prędkości uderzenia (dla określonych mas). W zależności od konfiguracji powierzchni ciał w miejscu zetknięcia praca lokalnych odkształceń niesprężystych może stanowić dowolną część energii uderzenia; dla powierzchni o dużej krzywiznie (ostre krawędzie) będzie ona większa, dla powierzchni „płaskich” – mniejsza. W szczególności, gdy styk ciał występuje na stosunkowo dużym obszarze, czyli przy wysokim stopniu szczelności przylegania, trwałe odkształcenia lokalne mogą w ogóle nie wystąpić. W przypadku przeprowadzonego doświadczenia mamy do czynienia ze zderzeniem nasiona o powierzchnię czujnika piezoelektrycznego. Jedno ze zderzających się ciał, jakim jest czujnik ma stałe parametry dla wszystkich rozpatrywanych przypadków uderzeń. Zróżnicowanie otrzymanych wartości wyników zależy więc tylko od drugiego ciała biorącego udział w zderzeniu nasienia. Ponieważ każde nasienie ma indywidualne cechy (budowa anatomiczna i morfologiczna, zawartość tłuszczu, wody, itd.) więc i otrzymywane wyniki uzyskane dzięki tak subtelnej aparaturze będą odzwierciedleniem konkretnego przypadku, a duża ilość badań pozwoli na wnioski o charakterze ogólnym.

Otrzymane wartości współczynnika restytucji zbliżają nas do określenia zależności: energia uderzenia-naprężenie w nasionach poddawanych obciążeniom dynamicznym. Przeprowadzone badania mają przede wszystkim charakter metodyczny, stanowią podstawę do dalszych badań, które mogą mieć fundamentalne znaczenie dla opracowywania modeli uderzeń, przydatnych w analizie uszkodzeń – pozyskiwanie nasion i wielkości energii niezbędnej do ich rozdrabniania.

Uzyskane wyniki pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Obliczone wartości współczynników restytucji z przebiegu impulsów uderzenia wyraźnie odbiegają od wartości przedstawianych w literaturze i służących jako składnik niezbędny do dalszych rozważań teoretycznych i aplikacyjnych.
2. Wykorzystane do badań nasiona wykazują zróżnicowanie odmianowe we właściwościach mechanicznych, co może w przyszłości być wykorzystane do identyfikacji niektórych cech użytkowych pozyskiwanych nasion.

PIŚMIENNICTWO

1. **Boguta A., Szwed G.:** Wpływ miejsca uderzenia ziarniaków na wynik badań udarowych. Inżynieria Rolnictwa, 6, 103-109, 2000.
2. **Boguta A., Szwed G.:** Wykorzystanie przetwornika piezoelektrycznego do oceny reakcji dynamicznych nasion w zależności od ich wilgotności. Acta Agrophysica, 58, 17-21, 2001.
3. **Giergiel L., Rosiński J., Uhl T.:** Metoda identyfikacji układów mechanicznych przy wymuszeniu uderzeniowym. Archiwum Budowy Maszyn, Vol. TXXXIII, z 3, 321-337, 1986.
4. **Głuch L., Rosiński J.:** Wpływ parametrów strukturalnych na przebieg siły zderzenia w układzie o jednym stopniu swobody. Mechanika, Zesz. Nauk. AGH, tom 3, z. 1, 19-25, 1984.
5. **Gryboś R.:** Przyczynek do energetycznej teorii uderzenia. Zesz. Nauk. Pol. Śl. Mechanika, 27, 1967.
6. **Mok C.H.:** The dependence of yield stress on strain rate as determined from ball-indentation tests. Expt. Mech., 2,(6), 87-92, 1966.
7. **Sosnowski S.:** Measurement stand for determining the dynamic loads on pods plant seeds. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 399, 273-239, 1993.
8. **Sved G.:** Stresses caused by dynamic loads. Bull. Mech. Eng. Educ., 2, (4), 107-109, 1965.
9. **Szot B., Kutzbach M.D.:** Rapeseed damage as influenced by the dynamic load. Int. Agrophysics, 6, 103-115, 1992.
10. **Szwed G., Tys J.:** Resistance of rape seeds to the impact of dynamic forces. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z 427, 83-86, 1995.
11. **Szwed G., Tys J.:** Estimation of physical results of percussive loads in wheat and triticale seed. Int. Agrophysics, 16, 297-300, 2002.
12. **Ślipek Z., Złobecki A.:** Multiple impact effects wheat grain. Int. Agrophysics, 8(2), 349-352, 1994.
13. **Tys J., Szwed G., Szot B., Malicki A.:** Method of estimation of permissible impact energy for rape seed. Int. Agrophysics, 8, 367-376, 1994.
14. **Tys J., Szwed G., Malicki A.:** Probability model of rape seed damages. Proceedings of the Int. Conf. on "Trends in Agricultural Engineering" Czech. University of Agriculture. Prague, 100-105, 1999.

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF IMPACT OF SPRING RAPE SEEDS

Grzegorz Szwed¹, Josef Pecen², Stanisław Sosnowski³

¹Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

²Czech University of Agriculture, ul. Kamýcká 129; 165 21 Prague-Suchdol, Czech Republic

³School of Engineering and Economics, ul. A. Mickiewicza 10, 39-100 Ropczyce

e-mail: gszwed@demeter.ipan.lublin.pl

Abstract. The paper describe the measuring set for determination of restitution coefficient of rape seeds and preliminary results. The restitution coefficient is one of the physical properties of seeds that characterize their behavior during impact. Six varieties of rapeseeds were measured and compared using this method. Big differences between varieties were found for time of deformation and value of max.

Key words: rapeseeds, restitution coefficient, deformation, impulse of force

