

ZNACZENIE PRĘDKOŚCI OBCIĄŻANIA PRZY POMIARZE WSKAŹNIKA PODATNOŚCI NASION*

Zbigniew Ślipek, Jarosław Frączek, Sławomir Francik

Katedra Podstaw Budowy Maszyn, Akademia Rolnicza
ul. Balicka 104, 30-149 Kraków
e-mail: slipek@ar.krakow.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań mających na celu określenia wpływu prędkości obciążania na wartość wskaźnika podatności nasienia E_n . Wskaźnik ten został zdefiniowany jako podwojona ilość pracy W_n [J] włożona w odkształcenie nasienia o danej gęstości rzeczywistej ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]. Określano go poprzez dokonanie próby ściskania nasienia między dwoma równoległymi płytkami. Próbę tę wykonano na maszynie wytrzymałościowej Instron przy pięciu prędkościach obciążania: 5, 10, 20, 30, 50 $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Odczyt wartości odkształcenia następował przy sile nacisku równej 20 N. Liczba powtórzeń wynosiła 50. Badania przeprowadzono na sześciu zróżnicowanych pod względem kształtu i wielkości rodzajach nasion: pszenicy odmiany Roma, żyta – Dańkowskie Złote, wyki – Szelejewska, łubinu – Mirella, grochu – Nike oraz fasoli – Jubilatka. Zawartość wody w badanym materiale wynosiła 0,23 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Analiza uzyskanych wyników pomiarów wykazała, iż przy określaniu sprężystości nasienia podczas próby ściskania między dwoma równoległymi płytkami prędkość obciążania powinna wynosić 10 $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Słowa kluczowe: sprężystość, moduł Younga, nasiona, prędkość obciążania, modelowanie

WSTĘP

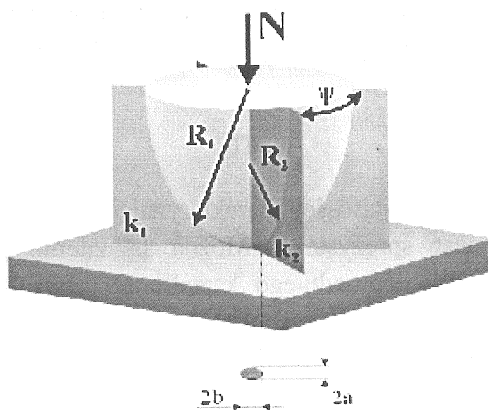
Jedną z ważniejszych właściwości charakteryzujących materiały pod względem wytrzymałościowym jest sprężystość. Można ją zdefiniować jako zdolność materiału do powrotu do poprzedniego kształtu po zlikwidowaniu obciążenia. Sprężystość jest oceniana zazwyczaj poprzez określenie modułu sprężystości podłużnej czyli modułu Younga.

* Praca wykonana w ramach projektu badawczego 5PO6F 002 19, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych

W przypadku materiałów konstrukcyjnych popularność tego sposobu oceny cech wytrzymałościowych badanego materiału ma swe źródło w stosunkowo dużej łatwości przeprowadzania pomiaru oraz powtarzalności wyników przeprowadzonego w jednakowych warunkach.

Wzorując się na ustalonych dla metali procedurach pomiarowych, w przypadku nasion bardzo często określa się wartość modułu Younga. Zazwyczaj wykorzystuje się wówczas – w zależności od sposobu przeprowadzania pomiaru – teorię Hertz'a, Businessqu'a lub Hook'a. Mimo tego, że prowadzone są liczne badania dotyczące sprężystości nasion, do tej pory nie zostały wypracowane żadne uniwersalne, jednolite standardy pomiarowe. Jedyne wytyczne odnośnie sposobu wyznaczania modułu Younga można znaleźć w standardach ASAE [9]. Zaproponowany w nich sposób obliczania modułu Younga bazuje na teorii Hertz'a dotyczącej naprężeń kontaktowych i w zależności od rodzaju materiału roślinnego obejmuje różne sposoby obciążania.

Przy określaniu modułu Younga, zgodnie ze standardami ASAE, naprężenia normalne σ określane są po przyjęciu pewnych uproszczeń. Między innymi przyjmuje się, że kształt powierzchni ograniczających nasienie w punktach styku z górną i dolną płytką jest opisany przy pomocy promieni krzywizn głównych - czyli krzywizn ekstremalnych w danym punkcie (rys. 1). Promień R_1 jest promieniem krzywizny minimalnej, a R_2 promieniem krzywizny maksymalnej. Kąt ψ zawarty między płaszczyznami krzywizn głównych k_1 oraz k_2 jest kątem prostym.



Rys.1. Promienie krzywizn głównych

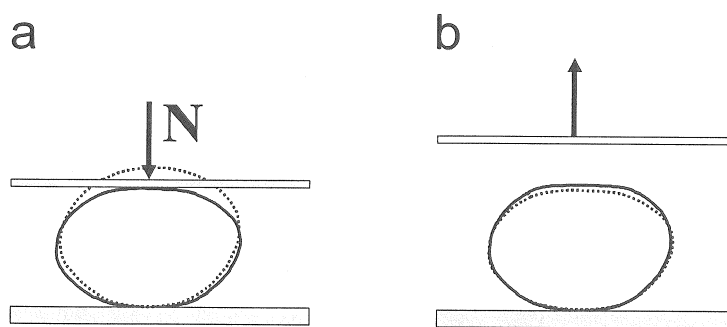
Fig. 1. Radiuses of main curvatures

Przyjmuje się również, że kształt powierzchni styku jest elipsą (rys. 1), której półosie uzależnione są m.in. od modułu E , stałej Poissona, parametrów geometrycznych nasienia oraz wartości siły dociskającej. Dodatkowe założenia odnoszą się do odkształcenia w górnej i dolnej części nasienia (są jednakowe), miejsca występowania maksymalnych naprężeń (w środku elipsy styku) oraz dużo mniejszej sprężystości nasion w porównaniu z materiałem płytek dociskowych.

Jak wykazały badania własne [3] zastrzeżenia, co do stosowania prawa Hooke'a w stosunku do nasion można by mnożyć. Jednym z ważniejszych problemów są wyraźne reologiczne cechy tych materiałów. Nie zawsze wiadomo, czy odkształcenie traktowane jako plastyczne nie zniknie po pewnym czasie i na odwrót, czy odkształcenia sprężyste ustąpią po usunięciu obciążenia. Powyższą sytuację obrazuje zmiana konturów nasienia fasoli Jubilatka, uzyskana poprzez obrysowanie cyfrowego obrazu nasion – pochodzącego z kamery Canon - na kolejnych etapach próby ściskania.









Na rysunku 2a zamieszczono kontur nasienia przed próbą ściskania (linia przerywana) i przy maksymalnej wartości naprężenia (linia ciągła). Można zaobserwować wyraźne dysproporcje w odkształceniu poszczególnych fragmentów nasienia – bardziej odkształca się ono w części górnej, co w efekcie powoduje, iż skrócenie wysokości nasienia następuje również w części górnej.

Po odsunięciu górnej płytki dociskowej nasienie powraca do swego pierwotnego kształtu dwuetapowo (rys. 2b). W pierwszym etapie następuje szybki spadek odkształcenia do pewnej wartości (linia ciągła), co sugeruje, że mamy do czynienia z odkształceniami sprężystymi. Pozostałe odkształcenie należałoby traktować jako plastyczne. Tym niemniej jego część cofa się po pewnym czasie na skutek wspomnianego, reologicznego charakteru materiału.



Rys. 2. Kontury nasion fasoli podczas próby ściskania: a – dociążanie, b – odciążanie
 Fig. 2. Contours of bean seeds during compression test: a – loading, b – unloading

Tabela 1. Wybrane wartości modułu Younga różnych nasion
Table 1. Chosen values of Young's modulus of different seeds

Autor/rok Author/year	Sposób obciążania Method of loading	Materiał Material	Wartość modułu Younga Value of Young's modulus (MPa)
Zoerb 1967		ziarno pszenicy wheat seed	300
Arnold i Roberts 1969		pszenice australijskie australian wheats wilgotność moisture 11,5-13,0 %	od 2000 do 4103
		pszenice australijskie australian wheats wilgotność moisture 11,5-13,0%	od 1414 do 2834
Koper 1980		pszenica ozima Grana Grana winter wheat wilgotność moisture 10,8-18,6%	od 176 do 1082
Grundas i Hnilica 1987		endosperm ziarna pszenicy wheat endosperm wilgotność moisture 10,6-11,0%	od 474 do 669
Michalak 1997		Kukurydza maize wilgotność moisture 14%	od 100 do 800
Dobrzański 1998		różne nasiona different seeds	od 546 do 800
Ślipek i in. 1999		różne nasiona different seeds	od 600 do 1200

Podsumowując należy uznać, że wątpliwa jest zasadność stosowania praw jednorodnych ośrodków ciągłych do opisu zachowania się nasion, a zatem określania modułu Younga tego typu materiałów. W związku z powyższym, na

bazie długoletnich badań prowadzonych w Katedrze Podstaw Budowy Maszyn AR w Krakowie, autorzy podjęli próbę zastosowania nowego wskaźnika sprężystości materiału (nie wykorzystując żadnego ze wspomnianych praw). Dodatkowym argumentem przemawiającym za zaprzestaniem obliczania modułu sprężystości pojedynczych nasion są bardzo duże różnice występujące między uzyskiwanymi wynikami. Dla przykładu w tabeli 1 zamieszczono wybrane wartości modułu Younga uzyskane przez różnych autorów. Wartości te mieszczą się w przedziale od 100 do 4103 MPa. Tak dużej rozbieżności nie można tłumaczyć różnicami odmianowymi czy też różnym zakresem wilgotności. Wydaje się, że jej powodem jest zawodna, mało precyzyjna metoda pomiaru

CEL

Parametry prób wytrzymałościowych przeprowadzanych na materiałach konstrukcyjnych są ściśle określone. Między innymi zalecana prędkość obciążenia mieści się w granicach 10^{-5} - 10^{-2} mm·s⁻¹ i dla większości metali nie wpływa wówczas na kształt wykresu obciążenie-odkształcenie. Przy większych prędkościach granice wytrzymałości i plastyczności wzrastają a odkształcenie odpowiadające granicy wytrzymałości zmniejsza się.

W przypadku nasion sytuacja jest bardziej skomplikowana. Podczas pomiarów laboratoryjnych, przeprowadzanych zazwyczaj przy małych prędkościach obciążania, za ciało stałe uważamy materiał, który w ogóle nie płynie lub wykazuje płynięcie plastyczne, czyli takie, które występuje po przekroczeniu granicznej wartości naprężenia zwanej granicą plastyczności. W przypadku nasion nie ma wątpliwości, co do traktowania ich jako ciała stałe, mimo tego, że wykazują zjawisko pełzania, które można nazwać pełzaniem lepko-sprężystym – czyli zachodzącym poniżej granicy sprężystości. Proces ten został już opisany wcześniej. Można więc postawić hipotezę, że prędkość odkształceń będzie miała istotny wpływ na wynik pomiaru sprężystości materiału.

Uwzględniając trudności związane z prowadzeniem badań wytrzymałościowych pojedynczych nasion, dla uzyskania jednolitości w przeprowadzaniu pomiaru i uniknięcia różnic w uzyskiwanych wynikach (związanych ze zjawiskiem płynięcia) należy ustalić jednolitą metodę oceny sprężystości w czasie próby ściskania oraz ustalić prędkość odkształcenia. Ustalenie wartości tej prędkości było celem prezentowanych badań.

METODYKA

W prowadzonych badaniach, w miejsce modułu Younga dla wyraźnego uwypuklenia różnic w fizycznej interpretacji wyników próby ściskania nasion i materiałów konstrukcyjnych, wprowadzono nową wielkość nazwaną wskaźnikiem podatności nasienia E_n . Został on zdefiniowany jako podwojona ilość pracy W_n włożona w odkształcenie pojedynczego nasienia (jednostkowa praca odkształcenia) odniesiona do jego gęstości rzeczywistej ρ :

$$E_n = 2 \cdot \frac{W_n}{\rho} \quad [\text{J} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (1)$$

Wskaźnik E_n określany jest poprzez dokonanie próby ściskania nasienia między dwoma równoległymi płytkami. Zgodnie z definicją, pracą odkształcenia można wówczas obliczyć jako iloczyn działającej siły nacisku N i powstałego odkształcenia Δl :

$$W_n = \frac{1}{2} \cdot N \cdot \Delta l \quad [\text{J}] \quad (2)$$

W związku z wynikami badań własnych, w których stwierdzono, że dokonywanie odczytu wartości odkształcenia powinno następować przy sile nacisku równej 25 N [4], wskaźnik E_n można obliczyć ze wzoru:

$$E_n = \frac{25 \cdot \Delta l}{\rho} \quad [\text{J} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (3)$$

Przy zachowaniu stałej siły obciążającej, interpretacja fizyczna wskaźnika podatności jest następująca: jest to dwukrotna wartość pracy, jaką wykonuje siła 25 N przy odkształceniu nasienia o gęstości rzeczywistej ρ .

Pomiar E_n przeprowadzono dla sześciu rodzajów nasion. Badania wykonano przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej Instron. Zadawana prędkość obciążania mieściła się w zakresie prędkości zalecanych przez ASAE i wynosiła kolejno 5, 10, 20, 30, 50 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Nasiona układano w najbardziej stabilnej pozycji. Liczba powtórzeń wynosiła 50.

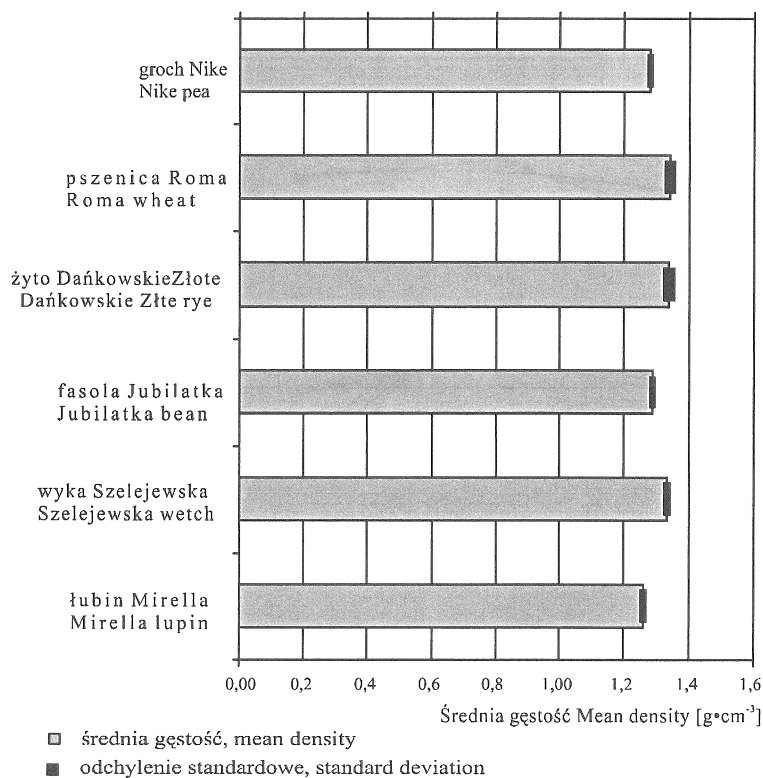
Do określenia gęstości rzeczywistej pojedynczych nasion wykorzystano elektroniczny zestaw do wyznaczania gęstości ciał stałych i cieczy wykorzystujący wagę typu WPS. Pomiar gęstości odbywał się przy wykorzystaniu prawa Archimedesesa. Ciecżą, w której zanurzane były nasiona był olej o gęstości $917 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Pomiar masy próbki w powietrzu i w oleju odbywał się z dokładnością do 0,001 g. Liczba powtórzeń wynosiła 50.

WYNIKI BADAŃ

Jak wykazują nieliczne badania [6], w przypadku materiałów konstrukcyjnych, im niższa jest sprężystość materiału tym wyraźniejsze jest oddziaływanie prędkości obciążania na uzyskiwane wyniki pomiarów. Wzrost prędkości obciążania powoduje zwiększenie wartości granicy wytrzymałości doraźnej. Kierując się powyższymi spostrzeżeniami prędkość obciążania nasion ustalono dla materiału o niskiej sprężystości, czyli dużej zawartości wody. Badania przeprowadzono więc na materiale nawilżonym do poziomu $0,23 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m}$. Liczbie powtórzeń wynosiła 50.

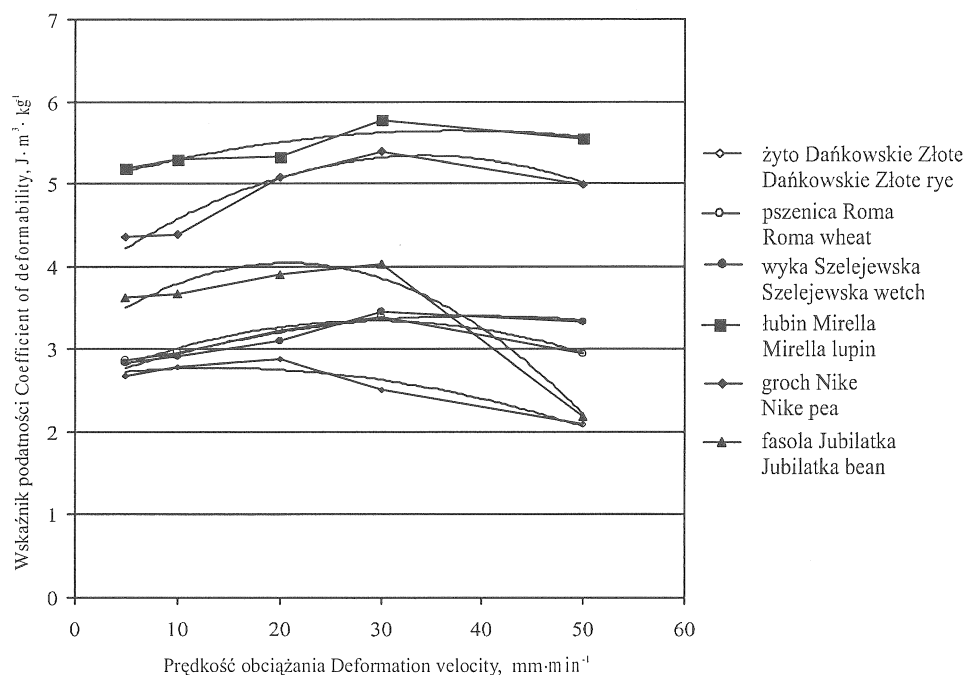
Materiał został przesiany na sitach laboratoryjnych, a do pomiarów wybrano nasiona z najliczniejszej frakcji.



Rys. 3. Średnia gęstość badanych nasion
 Fig. 3. Mean density of tested seeds

Gęstość rzeczywista nasion poszczególnych odmian różniła się w niewielkim stopniu (rys. 3). Największą ρ zanotowano w przypadku pszenicy Roma ($1,343 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), a najmniejszą dla łubinu Mirella ($1,260 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Na uwagę zasługuje mały rozrzut uzyskanych wyników wokół wartości średniej. Maksymalne odchylenie standardowe wynosiło 0,0031 (żyto Dańkowskie Złote). Świadczy to, że selekcja wymiarowa (sita laboratoryjne) nasion przeznaczonych do wykonania próby ściskania dokonana została w sposób prawidłowy.

Obliczony wskaźnik podatności mieścił się w granicach od 2,085 do $5,773 \text{ J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{kg}^{-1}$ (rys. 4). Prawie trzykrotna różnica w wartości E_n spowodowana jest głównie czynnikami odmianowymi. Najmniejszą sprężystością cechują się nasiona łubinu Mirela oraz grochu odmiany Nike, największa zaś ziarno pszenicy odmiany Roma. Należy podkreślić, że wnioskowanie o właściwościach sprężystych materiałów na podstawie wskaźnika podatności jest odwrotne niż w przypadku modułu Younga. Większa wartość tego wskaźnika świadczy o tym, że zadana siła może wykonać dużą pracę – a zatem mniejsza jest sprężystość badanego materiału.



Rys. 4. Zależność wskaźnika podatności od prędkości odkształcenia

Fig. 4. Coefficient of deformability in dependency of the deformation velocity

Stwierdzono, że dla wszystkich nasion wystąpiły wahania w wartości obliczonego wskaźnika podatności powodowane zmianą prędkości odkształcenia. Różnica między największą i najmniejszą wartością wynosiła:

- 0,527 J·m³·kg⁻¹ dla pszenicy Roma,
- 0,582 J·m³·kg⁻¹ dla łubinu Mirela,
- 0,630 J·m³·kg⁻¹ dla wyki Szelejewska,
- 0,799 J·m³·kg⁻¹ dla żyta Dańkowskie Złote,
- 1,035 J·m³·kg⁻¹ dla grochu Nike,
- 1,850 J·m³·kg⁻¹ dla fasoli Jubilatka.

Uzyskane wyniki wyraźnie wskazują na to, że zalecenia ASAE odnośnie prędkości odkształcenia stosowanej podczas próby ściskania nasion są zbyt ogólne. Obliczone wartości E_n mogą bowiem w skrajnym przypadku różnić się nawet o ok. 45%.

Po przeprowadzeniu analizy wariancji w klasyfikacji podwójnej, która potwierdziła statystyczną istotność wpływu uwzględnionych czynników głównych (odmiana, prędkość obciążenia wykonano test Duncana (tab. 2). Pozwolił on na stwierdzenie, że istnieją dwie grupy jednorodne: prędkość 50 i 5 mm·min⁻¹ oraz prędkość 5 i 10 mm·min⁻¹.

Tabela 2. Wyniki testu Duncana dla prędkości obciążenia

Table 2. Results of Duncan's test for loading velocity

Prędkość odkształcenia Deformation velocity (mm·min ⁻¹)	Średni wskaźnik podatności Mean deformability coefficient (J·m ³ ·kg ⁻¹)	Istotność różnic Significance of differences	
50	3,510	X	
5	3,592	X	X
10	3,665	X	
20	3,919	X	
30	4,092	X	

Duże prędkości obciążania wymagają stosowania specjalnych maszyn, co podraża i utrudnia popularyzację tego typu pomiarów (z powodu zwiększenia kosztów prowadzenia badań). W związku z powyższym wydaje się, że korzystniejsze jest wykonywanie pomiarów przy niższych prędkościach. Proponuje się zatem, aby w czasie próby ściskania przeprowadzanej na nasionach roślin uprawowych prędkość obciążania wynosiła 10 mm·min⁻¹.

WNIOSKI

1. Gęstość rzeczywista badanych nasion różni się w niewielkim stopniu, mieściła się w zakresie od 1,260 do 1,343 g·cm⁻³.
2. Występują wyraźne różnice w sprężystości nasion poszczególnych odmian przy zawartości wody 0,23 kg·kg⁻¹s.m. Najmniejszą sprężystością, ocenianą przez wskaźnik podatności cechowały się nasiona łubinu Mirela oraz grochu Nike, największą zaś ziarno pszenicy Roma.
3. Stwierdzono istotność wpływu prędkości obciążania na uzyskiwane wyniki pomiaru wskaźnika podatności E_n .
4. Prędkość obciążania stosowana podczas próby ściskania nasion powinna wynosić 10 mm·min⁻¹.

PIŚMIENNICTWO

1. **Arnold P. C., Roberts.:** Fundamental aspects of load-deformation behavior of wheat grains. Transaction of the ASAE, 12(1), 104-108, 1969.
2. **Dobrzański B. jr:** Mechanizmy powstawania uszkodzeń nasion roślin strączkowych. Acta Agrophysica, 13, 1998.
3. **Frączek J., Hebda T.:** Wpływ kąta wierzchołkowego końcówki penetratora na mierzoną twardość nasion fasoli. Acta Agrophysica, 82, 41-50, 2003.
4. **Frączek J., Kaczorowski J., Ślipek Z.:** Standaryzacja metod pomiaru właściwości fizyczno-mechanicznych roślinnych materiałów ziarnistych. Sprawozdanie z Grantu 5PO6F 002 19, maszynopis; AR Kraków, 2003.
5. **Grundas S., Hnilica P.:** Typy endospermu ziarna pszenicy a jego właściwości mechaniczne. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 320, 127-133, 1987.
6. **Iluszyn A.A.:** Ob odnoj teorii dlitelnoj procznosti. Inżynierijnyj żurnał. Miechanika twierdowo tiela, 3, 1967.
7. **Koper R.:** Właściwości mechaniczne ziarna i źdźbła pszenicy wyznaczone metodą interferometrii holograficznej i elestoptyki. Rozprawa habilitacyjna, Lublin, 1980.
8. **Michalak D.:** Modelowe badania wytrzymałościowe ziaren zbóż na użytek projektowania maszyn rolniczych. Prace Przem. Inst. Masz. Roln., 17-21, 1997.
9. Standard of the ASAE, ASAE S368.3 MAR95, 554-559, 1998.
10. **Ślipek Z., Kaczorowski J., Frączek J.:** Analiza teoretyczno-doświadczalna tarcia materiałów roślinnych. Polskie Tow. Inż. Roln., Kraków; 1999.

ROLE OF DEFORMATION VELOCITY DURING MEASUREMENT
OF SEEDS DEFORMABILITY COEFFICIENT*Zbigniew Ślipek, Jarosław Frączek, Sławomir Francik*Department of Machine Design, University of Agriculture
ul. Balicka 104, 30-149 Kraków
e-mail: slipek@ar.krakow.pl

Abstract. The paper presents results of research aiming to define an effect of deformation velocity on a value of a seeds deformability coefficient E_n . The coefficient E_n was defined as amount of work W_n [J] required to deform seeds of given density ρ [kg m⁻³]. It was determined during a compression test of seeds squeezed between two parallel plates. The test was carried out with the Instron testing machine at five displacement velocities: 5, 10, 20, 30, 50 [mm min⁻¹]. Reading of deformation values takes place at the pressure force equal to 20 [N]. The number of repetitions was equal to 50. The tests were conducted on six kinds of seeds, differing from each other by shape and size, namely Roma wheat, Dańkowskie Złote rye, Szelejewska vetch, Mirella lupine, Nike pea and Jubilatka bean. The moisture content of the tested seeds was equal to 0,23 [kg kg⁻¹]. The analysis of obtained results showed that for determining the seeds deformability coefficient during the compression test of seeds squeezed between two parallel plates the deformation velocity should be equal to 10 [mm min⁻¹].

Key words: elasticity, Young's elasticity modulus, seeds, deformation velocity, modelling

