

## METODA RENTGENOGRAFICZNA W IDENTYFIKACJI USZKODZEŃ WEWNĘTRZNYCH NASION FASOLI SZPARAGOWEJ

*Bohdan Dobrzański jr<sup>1</sup>, Emilia Banak, Stanisław Grundas<sup>1</sup>,  
Stanisław Sosnowski<sup>2</sup>, Josef Pecen<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Institut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

<sup>2</sup>Wyższa Szkoła Inżynieryjno-Ekonomiczna, ul. Mickiewicza 10, 39-100 Ropczyce

<sup>3</sup>Czech University of Agriculture, ul. Kamýcká 129, 165 21 Prague-Suchdol, Czech Republic  
bdob@demeter.ipan.lublin.pl

**Streszczenie.** Celem badań było wyznaczenie wytrzymałości mechanicznej nasion fasoli szparagowej. Weryfikowano model opisujący powstawanie uszkodzeń liścieni nasion o niskiej zawartości wody oraz sprawdzono wpływ wartości deformacji na powstawanie naprężeń i odkształceń w pojedynczym liścieniu podczas ściskania, rejestrując krzywe siła-przemieszczenie. Wartości siły rejestrowane przy prędkości przesuwu głowicy równej  $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ , podczas pęknięcia liścienia wskazują na pewne zróżnicowanie odmian, jednak dla wartości modułu sprężystości nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic. Nasiona suszone stają się bardziej podatne na uszkodzenie co powoduje, że uszkodzenie szczelinowe powstaje przy małym odkształceniu, w efekcie kruche pęknięcia liścieni. W przypadku nasion podłużnych, takich jak nasiona fasoli zagęszczenie występuje pod powierzchnią kontaktu, tworząc elipsoidalny kształt, a uszkodzenia występują promieniście w kilku miejscach. Odkształcenia ściskanych całych nasion powodują powstawanie pojedynczego pęknięcia szczelinowego liścienia – często niewidocznego. Do identyfikacji uszkodzeń wewnętrznych wykorzystano aparat rentgenowski Elektronika 25, a prowadzona dokumentacja fotograficzna deformacji oraz rentgeno-graficzna szczelinowych uszkodzeń liścieni pozwoliła zaobserwować pewne prawidłowości oraz przyczyny ich powstawania.

**Słowa kluczowe:** fasola szparagowa, nasiona, ściskanie, deformacja, uszkodzenia wewnętrzne, rentgenografia

### WSTĘP

Nasiona fasoli tak jak wielu innych roślin strączkowych, przechodząc przez kolejne etapy obróbki pozbiorowej poddawane są obciążeniom mechanicznym, które prowadzą do ich uszkodzeń [3,6,7,19]. Uszkodzenie nasion powstaje pod wpływem deformacji, gdy wartość naprężeń w okrywie [10] czy też liścieniach przekroczy granicę wytrzymałości tkanki, z jakiej są zbudowane [5,8,9,11].

Test ściskania osiowego pomiędzy równoległymi płytkami jest najczęściej stosowaną przez wielu badaczy metodą badania wytrzymałości mechanicznej nasion [1-4,8,9,13,17,20]. W badaniach tych ściskano całe nasiona, a krzywa siła-przemieszczenie interpretowana jest w zakresie odkształceń niszczących, dla których wartości zarówno siły jak i deformacji często zależą od wielu czynników takich jak: wielkość i kształt nasion, ich nierównomierność, pomarszczenie okrywy, geometryczne cechy charakterystyczne dla poszczególnych odmian i gatunków, a także sposób podparcia oraz kształt płaszczyzny obciążającej.

Nasiona o dużej wilgotności ( $w > 14\%$ ) podlegają głównie deformacji postaciowej i znacznym zmianom kształtu [4-7,9,13]. Natomiast nasiona suche o wilgotności  $w < 10\%$  podlegają deformacji w bardzo niewielkim zakresie i uszkodzenia powstają często dla odkształceń nieznacznie większych od zakresu odkształceń sprężystych [7-9]. Małe odkształcenie, nieznacznie przekraczające zakres deformacji sprężystej nie powoduje widocznych zmian kształtu, a jak wykazano we wcześniejszych pracach [3,7-9], nawet niewielka zmiana kształtu nie może być przyczyną powstawania naprężeń rozciągających w okrywie. Obciążanie nasion o wilgotności równoważnej poniżej 10%, nawet przy niewielkim odkształceniu, wywołuje w procesie ścinania pęknięcie okrywy lub uszkodzenie szczelinowe liścieni. Należy przypuszczać, że przyczyny uszkodzeń nasion suchych należy poszukiwać podczas deformacji liścieni, a nie rozciągania okrywy, a poprawną interpretację wykresów siła-przemieszczenie dla nasion nie nawilżanych o właściwościach sprężysto-kruchych można prowadzić tylko w zakresie małych odkształceń, przy których jednak często okrywa nie ulega uszkodzeniu, co sprawia, że szczeliny wewnętrzne liścieni nie są widoczne.

Dlatego też celem badań było wyznaczenie właściwości mechanicznych nasion oraz sprawdzenie zakresu deformacji powodującej uszkodzenia wewnętrzne liścieni oraz zastosowanie metody oznaczania, nie widocznych na zewnątrz uszkodzeń, które możliwe są do zindyfikowania techniką nie inwazyjną, jaką jest analiza obrazów rentgenowskich [12,14-16,18].

#### MATERIAŁ I METODA

Badania prowadzono na nasionach fasoli szparagowej o żółtych strąkach odmian Tara, Laura, Korona i Złota Saxa ZIF, o zielonych strąkach odmian Sara, Segal i Libra oraz fasoli typu flageolet odmiany Mona.

Nasiona badanych odmian poddawano obciążeniu przy niewielkiej prędkości przesuwu głowicy równej  $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ , stosując różną czułość układu wyłączającego jej przesuw w zakresie od 1% do 20% wartości spadku siły, co zapewniało powstawanie pęknięć liścieni w niektórych przypadkach bez trwałych przemieszczeń.

Liścienie ściskano w kierunku prostopadłym do płaszczyzny podziału. Testy ściskania szlifowanych liścieni przeprowadzono rejestrując wielkości mechaniczne odpowiadające deformacji  $d$ , powodującej uszkodzenie oraz wyznaczono moduł sprężystości  $E$  w zakresie deformacji sprężystej, a także wyznaczono zakresy deformacji sprężystej dla 4 wartości progowych siły (force set point): 25, 50, 75 i 100 N. W celu sprawdzenia właściwości sprężysto-kruchych materiału, jakim są liścienie nasion o wilgotności 8% i nasion dosuszanych, wykonywano testy wytrzymałościowe po każdej utracie 2% wilgotności.

Do pomiaru wytrzymałości mechanicznej liścieni oraz całych nasion zastosowano test ściskania osiowego między równoległymi płytkami, natomiast do identyfikacji uszkodzeń wewnętrznych wykorzystano aparat Elektronika 25 [14-16,18], wykonując rentgenogramy przy 2 lub 3-krotnych powiększeniach obrazu.

#### WYNIKI I DYSKUSJA

W przypadku interpretacji uszkodzeń powstałych w trakcie ściskania całych nasion określany zostaje skutek wywołany różnymi mechanizmami, co może prowadzić do wyciągania fałszywych wniosków dotyczących wytrzymałości mechanicznej nasion [7-9]. Dlatego badanie deformacji liścieni nasion suchych, a właściwie ich połówek, podyktowane było chęcią wyeliminowania wpływu złożonego mechanizmu uszkodzeń oraz wpływu właściwości wytrzymałościowych liścieni na wartości pomiarowe rejestrowane podczas ściskania całych nasion.

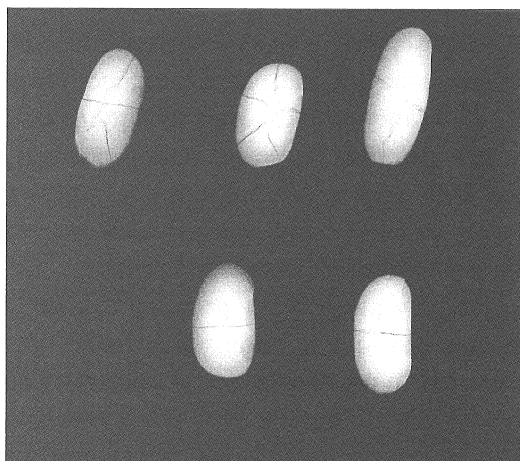
Ułożenie liścienia podczas ściskania tak, aby płaszczyzna podziału stanowiła płaszczyznę podparcia, zapewnia deformację głównie ze strony przeciwnej oraz bardziej symetryczny rozkład naprężeń, względem osi. Układ ten, w zależności od wielkości deformacji, może prowadzić zarówno do sprężystych jak i trwałych odkształceń, skutkiem których może być powstanie uszkodzenia szczelinowego zwanego w technice złomem rozdzielczym [7]. Dobrzański [7,9] przewiduje dwa przypadki powstawania złomu:

- deformacja sprężysta powoduje złom kruchy,
- powstanie złomu poprzedza trwała deformacja postaciowa.

Trwały charakter deformacji złomu rozdzielczego pozwala zastosować metodę wyznaczenia naprężenia złomu rozdzielczego  $\sigma_{cod}$  w oparciu o zasadę zachowania energii, a właściwie pracy deformacji. Wielkość szczeliny złomu  $d_{cod}$  dla deformacji postaciowej  $d_p$  i przyrost pola powierzchni kontaktu deformacji postaciowej  $\Delta d_k$  przedstawił [7,9] jako zależności, do których należy podstawiać tylko wartości mierzone tj. deformacji osiowej nasienia  $d_p$  oraz jego średnicy  $D_w$ .

Makroskopowa weryfikacja uszkodzeń stworzyła możliwość łatwiejszego obserwowania charakteru uszkodzeń oraz pozwoliła na eksperymentalne wyznaczenie wartości rozwarcia szczeliny  $d_{cod}$  [7,10]. Rozważania teoretyczne związane z powstawaniem złomu rozdzielczego, wielkość szczeliny oraz inne charakterystyczne wielkości geometryczne Dobrzański zamieścił w poprzednio przedstawionych pracach [7-9], natomiast w niniejszej pracy skoncentrowano się na opracowaniu metody wykrywania uszkodzeń wewnętrznych liścieni, często niewidocznych na powierzchni nasion.

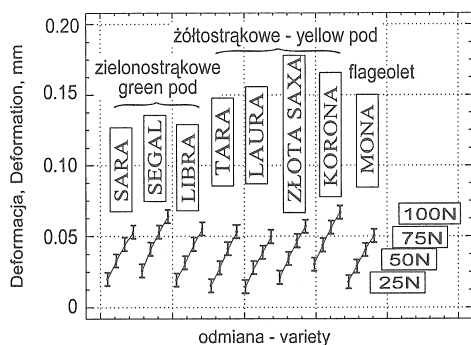
Rentgenogramy liścieni fasoli szparagowej, uzyskane po modyfikacji parametrów pracy urządzeń pozwoliły zaobserwować charakterystyczne przykłady uszkodzeń szczelinowych, czyli złom rozdzielczy (rys. 1). Dla większych zakresów deformacji zaobserwowano szczeliny rozchodzące się promieniście. Wzrost obciążenia i trwałe spęczenie centralnej części liścienia powoduje wyraźną utratę spójności materiału. Obserwując powierzchnię kontaktu, można zaznaczyć na rysunku 1 obszar stałego pola kontaktu i regularny podział płaszczyznami złomu.



**Rys. 1.** Uszkodzenia szczelinowe liścieni nasion fasoli szparagowej odmiany Segal

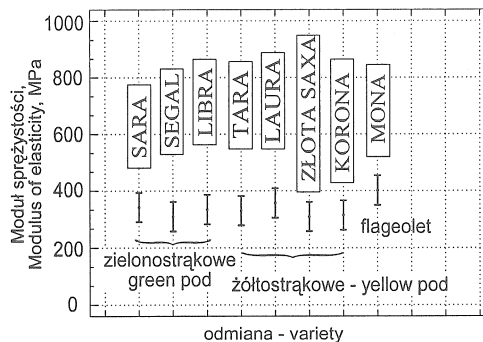
**Fig. 1.** Crack opening displacement of cotyledons of Segal bean

Wyniki otrzymane podczas ściskania wskazują, że uszkodzenie każdej z odmian powstaje przy różnej sile i deformacji (rys. 2). Może to świadczyć o zróżnicowanej wytrzymałości mechanicznej liścieni poszczególnych odmian. Wartości modułu sprężystości wyznaczone w zakresie niewielkiej deformacji osiowej dowodzą raczej zbliżonych właściwości mechanicznych liścieni badanych odmian (rys. 3). Nasiona fasoli szparagowej w zakresie obniżonej wilgotności zachowują się jak ciała sprężyste, a spadek deformacji rejestrowanej dla poszczególnych wartości progowych obciążeń potwierdza, że dosuszane liścienie nasion stają się bardziej kruche (rys. 4).



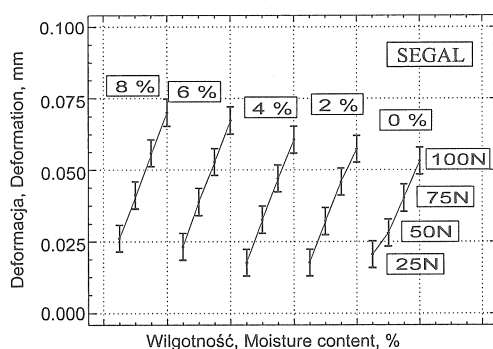
Rys. 2. Deformacja liści nasion fasoli dla wartości siły w zakresie od 25 N do 100 N

Fig. 2. Deformation of the cotyledon bean at compression in the range of force from 25 N to 100 N



Rys. 3. Moduł sprężystości liści nasion fasoli badanych odmian

Fig. 3. The modulus of elasticity of cotyledon bean of varieties investigated



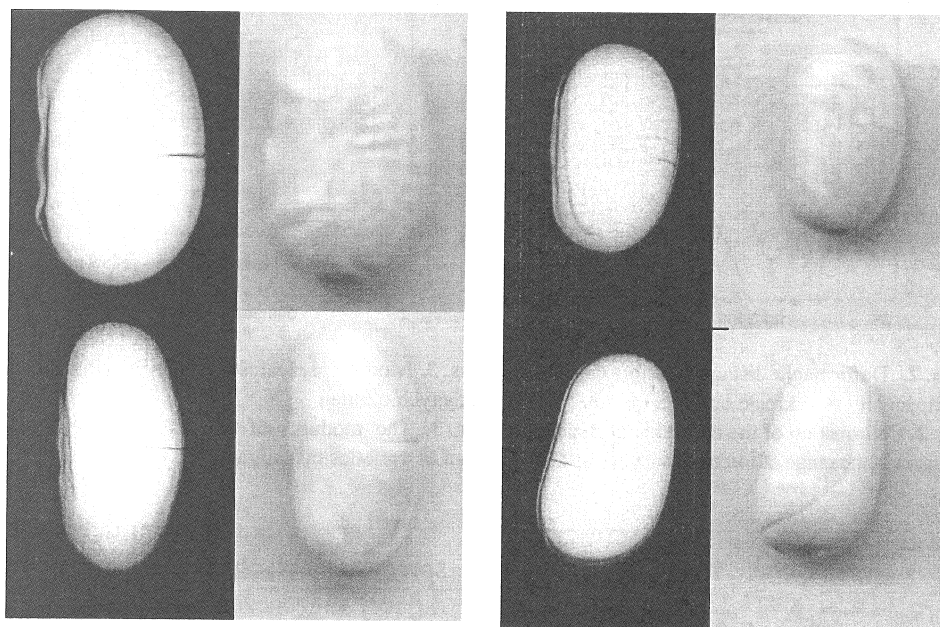
Rys. 4. Deformacja suszonych liści nasion fasoli dla różnych wilgotności podczas ściskania nasion fasoli dla siły w zakresie od 25 N do 100 N

Fig. 4. Deformation of dried cotyledon at different m.c. of bean at compression in the range of force from 25 N to 100 N

liścień wraca do poprzedniego kształtu. Promieniowa szczelina złomu jest często niewidoczna i mimo, że na wykresie siła-przemieszczenie obserwuje się gwałtowny spadek siły, który powoduje wyłączenie napędu głowicy pomiarowej maszyny wytrzymałościowej, to interpretacja naprężenia złomu rozdzielczego ze względu na brak trwałych przemieszczeń jest niemożliwa. W tym przypadku uszkodzenia tkanki nasion fasoli są często trudne do zaobserwowania (rys. 5) i dopiero interpretacja obrazu rentgenowskiego pozwala potwierdzić uszkodzenie liści niasion i wyjaśnić jego przyczynę.

W przypadku osiowej deformacji sprężystej całych nasion, nie powodującej zagęszczenia tkanki liści niasion, a wywołującej spęczenie sprężyste, większe od deformacji krytycznej złomu rozdzielczego, zaobserwować można pojedynczą szczelinę oraz brak trwałego obszaru pola powierzchni kontaktu (rys. 5 i 6).

Gdy deformacja sprężysta ściskającego liści niasion wywołuje naprężenie złomu rozdzielczego większe od wytrzymałości na rozciąganie ( $\sigma_{cod} > R_m$ ), pojawia się chwilowa szczelina, która po ustąpieniu naprężenia zanika, a



**Rys. 5.** Niewidoczne na zdjęciu uszkodzenie szczelinowe nasienia fasoli odmiany Złota Saxa wskazane na rentgenogramie

**Fig. 5.** Invisible on photo image a single crack of Złota Saxa bean indicated in the rentgenograph

**Rys. 6.** Rentgenogram niewidoczno na zdjęciu uszkodzenia szczelinowego liścienia nasienia fasoli odmiany Korona (poniżej lub powyżej pęknięcia okrywy)

**Fig. 6.** Invisible on photo image cotyledon's single crack (placed below or above the seed coat split) indicated in the rentgenograph of Korona bean

Zaobserwowano, że mechanizm powstawania uszkodzenia nasion podczas obciążania osiowego prostopadle do płaszczyzny kontaktu związany jest z wzrostem naprężeń rozciągających pomiędzy komórkami w płaszczyźnie przekroju poprzecznego. Prowadzona dokumentacja fotograficzna deformacji oraz rentgenograficzna szczelinowych uszkodzeń liścieni pozwoliła zaobserwować pewne prawidłowości oraz przyczyny ich powstawania. Uszkodzenie powstaje w miejscu powstawania powierzchni kontaktu, a decydujący wpływ na charakter pęknięć miał kształt obciążanej próbki. W przypadku nasion podłużnych takich jak nasiona fasoli zagęszczenie występuje pod powierzchnią kontaktu, tworząc elipsoidalny kształt, a uszkodzenia występują promieniście w kilku miejscach. Mimo podłużnego kształtu nasion, oś obciążenia pokrywała się z linią przecięcia płaszczyzn przełomu.

## WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania na liścieniach nasion fasoli szparagowej pozwoliły scharakteryzować przykłady uszkodzeń szczelinowych, czyli złom rozdzielczy, a rentgenograficzna weryfikacja uszkodzeń umożliwiła wykryć wewnętrzne uszkodzenia liścieni.

2. Dla mniejszych prędkości deformacji oraz niższych progów czułości układu wyłączającego przesuw głowicy zaobserwowano pojedyncze szczeliny rozchodzące się promieniście. Obserwując powierzchnię kontaktu, zauważyć można obszar stałego pola powierzchni kontaktu oraz spęczenie tkanki liścienia, które powoduje naprężenie złomu rozdzielczego oraz powstawanie trwałych deformacji.

3. W przypadku osiowej deformacji sprężystej liścienia, nie powodującej zagęszczenia jego tkanki, lecz wywołującej spęczenie sprężyste, większe od deformacji krytycznej złomu rozdzielczego, zaobserwować można pojedynczą szczelinę oraz brak trwałego obszaru pola powierzchni kontaktu.

4. Nasiona fasoli szparagowej o niskiej wilgotności zachowują się jak ciała sprężyste, natomiast nasiona dosuszone ulegają uszkodzeniu przy mniejszej deformacji potwierdzając właściwości kruche.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Chikwendu S.C., Anazodo U.G.N.:** Poisson's ratio and elastic modulus of radially compressed biomaterials -II: Large deformation approximation. Trans. of the ASAE, 1563-1572, 1984.
2. **Dobrzański B.:** Germination capacity of compressed pea seed. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 399, 31-34, 1993.
3. **Dobrzański B.:** Geometrical dependences of seed shell of compressed pea. Int. Agrophysics, 7, 259-264, 1993.
4. **Dobrzański B., Horabik J.:** Strain as a factor of mechanical strenght of pea seed. XII ICAE, AgEng'94, Milano, 2, 905-906, Report N. 94-G-071, 1-8, 1994.
5. **Dobrzański, jr B.:** The influence of moisture content on the shape deformation of soybean. AgEng' 96, Madrid, 962-963, paper: 96F-082, 1-7, 1996.
6. **Dobrzański, jr B., Szot B.:** Strength of pea seed cover. Int. Agrophysics, 11, 301-306, 1997.
7. **Dobrzański, jr. B.:** Mechanizmy powstawania uszkodzeń nasion roślin strączkowych. Acta Agrophysica, 13, 1-98, 1998.
8. **Dobrzański, jr. B.:** The cracking mechanisms of the legume seeds. CD-ROM of AgEng'2000 papers, Paper: 00-PH-050, 1-10, Warwick, 2, 111-112, 2000.
9. **Dobrzański, jr. B.:** The cracking mechanisms of grain legume. J. Blahovec, M. Kutilek (eds): Physical Methods in Agriculture, Kulwer Academic Publishers, USA, 167-194, 2002.
10. **Dobrzański, jr. B., Rybczyński R.:** Mikroskopowa weryfikacja uszkodzeń liścieni nasion bobiku. Fragmenta Agronomica, 8, 75-85, 2000.
11. **Fornal J.:** The changes of plant materials microstructure during processing. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, (3s), 7, 9-21. 1998.

12. **Fornal J., Błaszczak W., Grundas S.:** Novel agricultural materials for food and feed. The transgenic crops: from cereals to potato. J. Blahovec, M. Kutilek (eds): Physical Methods in Agriculture, Kulwer Academic Publishers, USA, ISBN: 0-306-47430-1, 281-308, 2002.
13. **Fornal J., Kaczyńska B., Sadowska J.:** Nasiona soczewicy. II. Reologiczne właściwości nasion i ich zmiany w czasie gotowania. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst., Technol Aliment., 25, 107-114, 1993.
14. **Grundas S., Sosnowski S., Pecen J.:** Meaning of wheat grain endosperm cracks by X-ray method. Proceedings of the International Scientific Conference „Agrotech Nitra 2002”, Slovak Republic, 125-129, 2002.
15. **Grundas S., Vielikanov L.:** Identyfikacja uszkodzeń mechanicznych ziarna zbóż metodą rentgenowską. Inżynieria Rolnicza. 2(22), 77-83, 2001.
16. **Grundas S., Vielikanov L., Archipov M.:** Importance of wheat grain orientation for detection of internal mechanical damage by the X-ray method. Int. Agrophysics, 13, 355-3361, 1999.
17. **Laskowski J., Skonecki S.:** The influence of moisture on the physical properties and parameters of the compression process of legumes' seeds. Int. Agrophysics, 11, 245-254, 1997.
18. **Pecen J.:** Properties on non-destructive methods for cracks detection of grains. J. Blahovec, M. Libra (eds): Physical Methods in Agriculture, Prague, 224-227, 2001.
19. **Sosnowski.:** Quality analysis of bean threshing with peg threshing unit. Int. Agrophysics, 8, 327-332, 1994.
20. **Szot B., Stępniewski A.:** Niektóre właściwości fizyczne nasion polskich odmian soczewicy. Acta Agrophysica, 46, 187-196, 2001.

## RENTGENOGRAPHY IN THE IDENTIFICATION OF INTERNAL CRACKS OF FRENCH BEAN

*Bohdan Dobrzański jr<sup>1</sup>, Emilia Banak, Stanisław Grundas<sup>1</sup>,  
Stanisław Sosnowski<sup>2</sup>, Josef Pecen<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin, Poland

<sup>2</sup>School of Engineering and Economics, ul. A. Mickiewicza 10, 39-100 Ropczyce, Poland

<sup>3</sup>Czech University of Agriculture, ul. Kamýcká 129, 165 21 Prague-Suchdol, Czech Republic  
bdob@demeter.ipan.lublin.pl

**Abstract.** The objective of this study was to determine the resistance of French bean to compression at different rates of loading and low moisture content. To verify a model describing cotyledon cracking mechanism and to determine the effect of load rate on the strain and stress development each single cotyledon was compressed and force-deformation curve was collected. The force obtained at cotyledon crack at the rate of 10 mm s<sup>-1</sup> indicates differentiation in varieties, however, no significant difference of the modulus of elasticity for most varieties was observed. Seeds after drying, becomes more fragile and therefore slightly deformation caused damage in the form of crispy crack. For large displacement of longitudinal shape of bean, a spherical cup of cotyledon was deformed to the elliptic contact area and regular cracks around core were observed. However, for low rate of axial deformation of whole bean, the compression caused one crack, that after unloading is frequently invisible. Using X-ray laboratory set Elektronika 25, some cracks were indicated as dark split on the bean rentgenographs.

**Key words:** french bean, seeds, compression, deformation, internal cracking, rentgenography