

METODY EKSPERYMENTALNE BADANIA NAPRĘŻEŃ, SKURCZU ORAZ WYTRZYMAŁOŚCI OKRYWY NASIENNEJ FASOLI

B. Dobrzański, jr, R. Rybczyński

Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
bdob@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. Celem badań było dokonanie weryfikacji eksperymentalnej właściwości mechanicznych okryw nasion fasoli za pomocą metod własnych opracowanych dla innych nasion roślin strączkowych. Skurcz i naprężenie rejestrowano jako krzywe w funkcji czasu, a wytrzymałość na rozciąganie jako zależność w funkcji wilgotności. Za pomocą ekstensometru rejestrowano wartości skurczu podczas suszenia w funkcji czasu, natomiast w teście izometrycznym rejestrowano naprężenie. Przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Instron wyznaczono wytrzymałość krytyczną okryw o różnej wilgotności na rozciąganie, co posłużyło do wykreślenia zależności tej wielkości w funkcji wilgotności.

Badania wpływu różnych warunków suszenia na powstawanie uszkodzeń okrywy przeprowadzono na nasionach odmian fasoli (*Phaseolus L.*). Skurcz suszonej okrywy wywołuje naprężenia, prowadząc do jej uszkodzenia. Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych i zastosowanych testów zaobserwowano, że naprężenia skurczu okrywy są często większe od jej wytrzymałości na rozciąganie, a wilgotność okrywy jest czynnikiem najbardziej modyfikującym jej wytrzymałość, przy czym jej wzrost powodował spadek wytrzymałości na rozciąganie. Dane te wykorzystano do weryfikacji modelu opisującego uszkodzenia okrywy podczas suszenia nasion roślin strączkowych.

Słowa kluczowe: Nasiona roślin strączkowych, naprężenia okrywy, skurcz.

WSTĘP

Wartości rejestrowane w testach ściskania całych nasion często odzwierciedlają złożoną wytrzymałość konstrukcji jaką jest składające się z liścieni nasienie otoczone rozciąganą okrywą [3-9, 12, 13]. Wpływ wilgotności na zmianę właściwości mechanicznych poszczególnych elementów składowych „tej konstrukcji” jakim jest nasienie, zwykle ma decydujący wpływ na jego wytrzymałość mechaniczną i odporność na uszkodzenie [3,4,9]. Prowadzone dotychczas badania własne, dotyczące właściwości mechanicznych nasion grochu i rzepaku [3-9], pozwoliły zaobserwować wpływ okrywy nasiennej na ich całkowitą wytrzymałość mechaniczną w zakresie dużych deformacji. Wytrzymałość okrywy tak jak innych materiałów roślinnych w największym stopniu warunkowana jest wilgotnością. Z jednej strony, zmiana wilgotności może pociągać za sobą zmianę wytrzymałości na rozciąganie okrywy nasion, a z drugiej strony, spodziewać się można zmian objętościowych; a zarazem zmian geometrycznych i skurczu okrywy, który powodować może powstawanie naprężeń w trakcie suszenia [9].

Budowa nasion roślin strączkowych umożliwiła zaproponowanie rozwiązań modelowych [9], wspólnych dla wszystkich gatunków. Zaobserwowane mechanizmy powstawania uszkodzeń okrywy powodowane są kolejno: naprężeniami rozciągającymi podczas deformacji postaciowej nasion wilgotnych [1,2,4,5,7,13,20], naprężeniami ścinającymi [9,10] w okrywie podczas połówkowania nasion suchych oraz naprężeniami skurczu w trakcie suszenia [11,14,17,23,24,26,27]. Natomiast, naprężenia złomu rozdzielczego są przyczyną uszkodzeń liścieni dla deformacji sprężystej lub postaciowej [9]. Zróżnicowane podejście modelowe zmusza do weryfikowania metod odrębnie dla nasion, liścieni oraz dla najbardziej narażonej na uszkodzenia okrywy nasiennej [9].

W badaniach właściwości mechanicznych okrywy nasiennej wyodrębnić można metody modelowe [1,4,5,7,9,14,19] oraz eksperymentalne, które dotyczą: jej twardości [18], wytrzymałości na rozciąganie [2,4,6,8,9,11,15,16,20,22,25] i ścinanie [9,10]. Niektóre metody dotyczą uszkodzeń powstałych w trakcie suszenia nasion [9,11,14,17,23,24,26,27] oraz ich deformacji [4,7,9,12,16,20,21]. Prowadzone badania wymagają często oceny strukturalnej i opisu ich budowy [9,15,17]. Test rozciągania zastosowany do oceny właściwości mechanicznych okryw nasiennych jest niezwykle trudny do wykonania i wymaga niezwykle starannego przygotowania próbek. Spotykane w literaturze badania [1,2] oparte są na interpretacji rozciągania okrywy nasion rzepaku zaledwie kilku suchych próbek [1,2]. Dopiero opracowana przez Dobrzańskiego [4,9] metoda preparacji

wycinków w kształcie obrączki umożliwiła badanie wytrzymałości na rozciąganie okrywy o różnej wilgotności oraz wyeliminowała dyskusyjną kwestię stosowania uchwytyłów szczękowych dla materiałów roślinnych.

Celem badań była weryfikacja stosowanych metod eksperymentalnych dotyczących badania wytrzymałości okrywy nasiennej na rozciąganie, oceny jej skurczu podczas suszenia oraz sprawdzenie czy skurcz wywołujący naprężenia w okrywie może spowodować jej rozerwanie. Zastosowane metody eksperymentalne zostały opracowane w ramach realizacji wcześniejszych prowadzonych prac własnych [3-15].

MATERIAŁ I ZAKRES BADAŃ

Badania właściwości mechanicznych okrywy nasion prowadzono na materiale otrzymanym ze Stacji Hodowli Roślin Ogrodniczych, obejmującym sześć odmian fasoli (*Phaseolus L.*): Blanka, Longina, Prosna, i Nida, w tym dwie odmiany szparagowe: Laura o strąkach żółtych i Segal o strąkach zielonych. Badanie wymagały przeprowadzenia oddzielnych testów w celu wyznaczenia naprężenia na rozciąganie okrywy oraz pomiaru naprężeń i odkształceń skurczu powodowanego suszeniem i obejmowały swym zakresem:

- test rozciągania okrywy,
- ekstensometryczny pomiar skurczu okrywy,
- statyczny pomiar naprężenia skurczu okrywy.

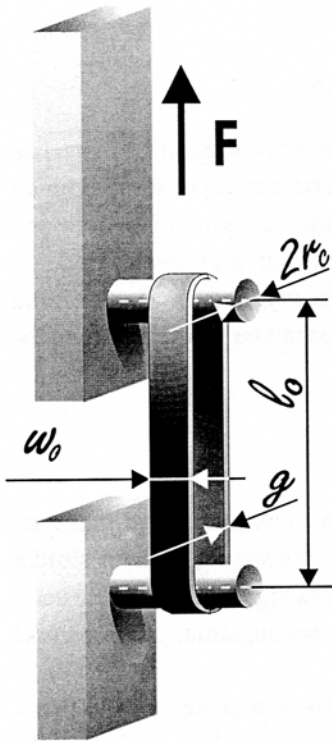
Testy pomiaru siły skurczu okrywy przeprowadzono wykorzystując maszynę wytrzymałościową Instron model 6022 wyposażoną w uchwyty głowicy i stolika oporowego opracowane dla przeprowadzania testów rozciągania. W obu testach wykorzystano układy pomiarowe stosowane w testach rozciągania, gdzie wyniki można interpretować w oparciu o prawo Hooke'a.

Natomiast stanowisko do pomiaru skurczu wyposażono w ekstensometr firmy Instron model 2630-107. Testy te wymagają wycięcia próbek o stałym polu powierzchni przekroju, zapewniającym prawidłową interpretację zgodną z najprostszymi prawami fizyki.

W testach zastosowano metodę pomiaru wytrzymałości na rozciąganie okrywy nasion roślin strączkowych oraz metodę preparacji wycinków okrywy opracowane przez autora [4,9]. Dla każdej z badanych odmian wycięto do testów rozciągania po 33 próbki (paski okrywy). Zastosowana metoda pozwala ominąć konieczność mocowania próbki w uchwytach ściskających.

TEST ROZCIĄGANIA OKRYWY

Testy rozciągania prowadzono wykorzystując maszynę wytrzymałościową Instron model 6022. Test wymagał wyposażenia głowicy oraz stolika oporowego maszyny Instron w specjalne uchwyty umożliwiające założenie pasków okrywy na walce o średnicy $2r_c$ (Rys. 1). Pole przekroju próbki określano znając szerokość paska w_o równą odległości pomiędzy ostrzami tnącymi oraz grubość okrywy g wyznaczoną dla wszystkich badanych gatunków i odmian.



Rys. 1. Pasek okrywy w uchwytach walcowych.

Fig. 1. The seed coat belt on the cylindrical holders.

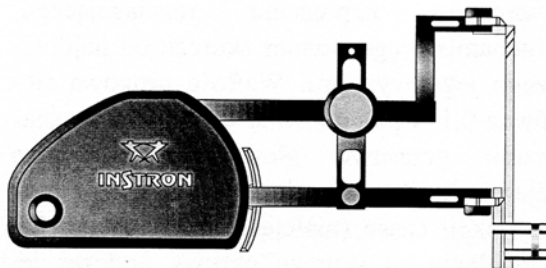
Wyznaczenie powyższych wielkości pozwoliło na obliczenie wytrzymałości na rozciąganie oraz modułu sprężystości okrywy nasiennej. W testach rozciągania okrywy nasiennej badanych odmian rejestrowano następujące wielkości mechaniczne odpowiadające deformacji powodującej uszkodzenie: siłę F , deformację d i pracę deformacji L . Wyznaczono moduł sprężystości E_o w zakresie deformacji sprężystych. Deformację wydłużenia okrywy w zakresie odkształceń sprężystych rejestrowano dla następujących poziomów obciążeń: 0,2, 0,4, 0,6 i 0,8 N.

Niewielka masa pasków okrywy ($1.8 \div 28.4$ mg) i łatwość wysychania nie pozwalała na przygotowanie próbek o żądanej i określonej wilgotności metodami wcześniej stosowanymi, w których do próbki o znanej masie dodawana jest określona ilość wody. Dlatego opracowano metodę [9], w której każdy z nawilżonych pasków okrywy był podsuszany w czasie zapewniającym oczekiwaną wilgotność. Następnie wycinek okrywy ważony był przed i po rozerwaniu za pomocą wagi WPS 72 o dokładności 0,2 mg, co zapewniało precyzyjne określenie poziomu wilgotności, jaki okrywy posiadała w trakcie rozciągania.

EKSTENSOMETRYCZNY POMIAR SKURCZU OKRYWY

Stanowisko do pomiaru skurczu okrywy i określania jego odkształcenia podczas suszenia i nawilżania, składa się z układu suszącego i rejestrującego.

Układ pomiarowy wyposażono w ekstensometr firmy Instron model 2630-107 o maksymalnym zakresie pracy do +25 mm ($\pm 2,5$ mm). Pomiar skurczu okrywy wymagał wykonania specjalnych uchwytów rewersyjnych (Rys. 2) umożliwiających pomiar odkształcenia w kierunku przeciwnym do kierunku pracy ekstensometru. Nawilżone paski okrywy zakładano na równoległe walce mocowane do ramion ekstensometru, których odległość była równa wymiarowi paska okrywy przed suszeniem. Ekstensometr podłączony do maszyny wytrzymałościowej umożliwiał rejestrację skurczu, czyli odkształcenia okrywy w funkcji czasu (malejącej wilgotności w trakcie suszenia).



Rys. 2. Ekstensometr 2630-107 do pomiaru odkształcenia wyposażony w uchwyt rewersyjny.

Fig. 2. Strain gauge extensometer 2630-107 with reversible holder.

W celu sprawdzenia zachowania się okrywy w różnych warunkach suszenia zastosowano układ suszący [9,11] składający się z suszarki o regulowanej prędkości obrotowej wirnika; wyposażony w trzy elektryczne elementy grzejne, co zapewniało następujące kombinacje parametrów czynnika suszącego (temperatura i prędkości przepływu), dla których wprowadzono następujące oznaczenia: I - (22°C ; 10,5 m/s), II - (22°C ; 15,6 m/s), III - (42°C ; 4,3 m/s), IV - (52°C ; 10,5 m/s), V - (62°C ; 15,4 m/s).

Wilgotne paski okrywy zamocowane w walcowych uchwytach ramion ekstensometru suszono powietrzem rejestrując skurcz okrywy w czasie 2 minut. Czas ten zapewniał ubytek wilgotności sięgający 60%, a w przypadku suszenia ogrzany powietrzem wystarczał na całkowite wysuszenie okrywy nasiennej.

Pomiary ekstensometryczne skurczu okrywy nasiennej dla zadanej ujemnej różnicy wilgotności pozwalają wyznaczyć bezpośrednio wartość odkształcenia ϵ_s , umożliwiając określenie zakresu, w którym skurcz wywołany suszeniem okrywy spowoduje jej uszkodzenie.

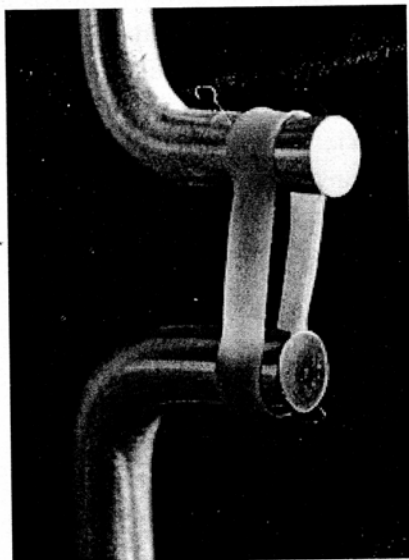
STATYCZNY POMIAR NAPRĘŻENIA SKURCZU OKRYWY

Pomiar polegał na statycznym pomiarze narastającej siły, powodowanej naprężeniem paska okrywy podlegającemu skurczowi w trakcie suszenia próbki. Wilgotne paski zakładano na równoległe walcowe uchwyty mocowane do stolika oporowego i głowicy. Następnie próbkę rozciągano do momentu pojawienia się wstępnego naprężenia rozciągającego, uruchamiającego pomiar skurczu od najdłuższego jego wymiaru. Wartość progowa siły równa 0,1 N powodowała wyłączenie mechanizmu przesuwu głowicy umożliwiając rejestrację siły powstającej w trakcie suszenia w funkcji czasu (malejącej wilgotności). Do wywołania sił skurczu okrywy podczas jej suszenia wykorzystano układ suszący, zastosowany również podczas ekstensometrycznych pomiarów skurczu [9,11].

W celu sprawdzenia zachowania się okrywy w różnych warunkach suszenia zastosowano takie same parametry czynnika suszącego. Wilgotne paski okrywy założone na walcowe uchwyty (Rys. 3) suszono powietrzem rejestrując siłę skurczu okrywy w czasie 5 minut. Czas ten zapewniał ubytek wilgotności sięgający 60%, a w przypadku suszenia ogrzany powietrzem wystarczał na całkowite wysuszenie okrywy nasiennej.

W trakcie suszenia nie ma możliwości określenia wilgotności, jednak ważenie próbek przed i po suszeniu zapewnia określenie zmian wilgotności i odpowiadającego przyrostu siły skurczu oraz rejestrację charakteru przebiegu tej siły w czasie. Znając pole przekroju suszonej okrywy w płaszczyźnie przekroju poprzecznego podwójnego paska okrywy wyznaczyć można maksymalne naprężenia skurczu dla różnych parametrów czynnika suszącego.

Symulowano także spotykane często w praktyce warunki, gdzie w trakcie suszenia ogrzany powietrzem dochodzi do wyłączenia grzałek i temperatura gwałtownie spada do temperatury otoczenia lub ponownie wzrasta po włączeniu zespołów grzejnych.

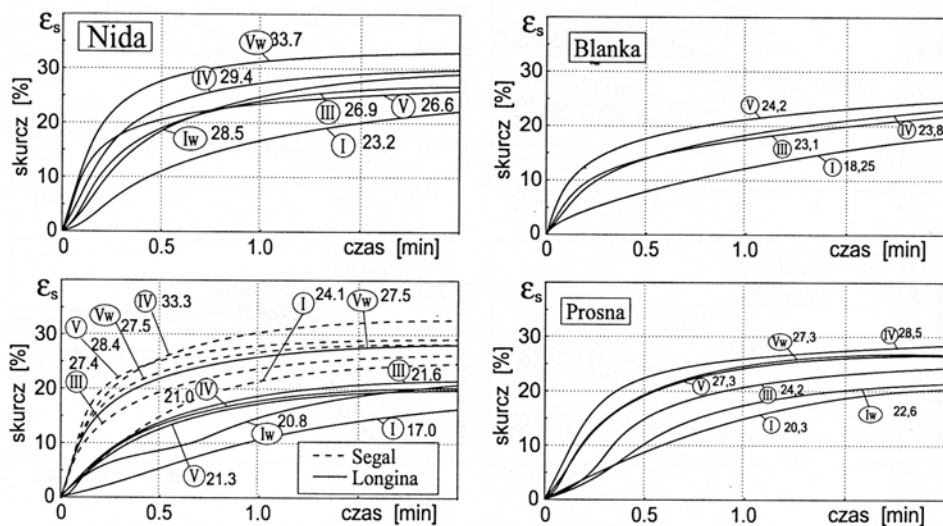


Rys. 3. Izometryczny pomiar siły skurczu.

Fig. 3. The isometric measurement of the shrinkage force.

WYNIKI

Nawilżone paski okrywy nasiennej wysychały w różnym czasie, zależnie od parametrów czynnika suszącego; temperatury i prędkości przepływu. Największy skurcz okrywy powodowało suszenie powietrzem o najwyższej temperaturze 52÷62^o C. Okrywa nasion fasoli Prosna i Segal i Longina maksymalnie kurczyła się dla poszczególnych odmian o 28,5, 33,3 i 27,5 %. Największe wartości odkształcenia skurczu paska suszonej okrywy (33,7 %) zanotowano dla nasion fasoli odmiany Nida wzdłuż jej najdłuższego wymiaru (Rys. 4).



Rys. 4. Skurcz okrywy nasion badanych odmian fasoli.

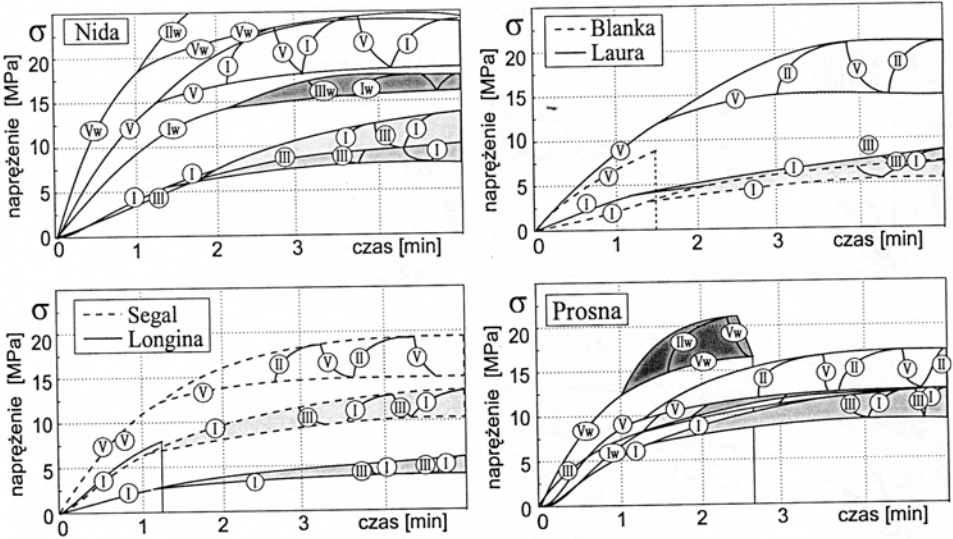
Fig. 4. The shrinkage of the seed coat of studied bean.

Zaobserwowane tak duże odkształcenie okrywy wywołane zmianą jej wilgotności było powodem wyznaczenia naprężeń występujących w okrywie i siły powodującej jej skurcz. Naprężenia powstające w suszonej okrywie zależnie od temperatury i prędkości czynnika suszącego osiągały wartości 5,5÷31,4 MPa. Najwyższe wartości siły skurczu otrzymano dla drobnych nasion odmian szparagowych Laura i Segal.

Na Rys. 5 przedstawiono przebiegi wartości naprężeń skurczu okrywy nasion fasoli odmian Segal i Longina. Siła skurczu F_s okrywy nasion fasoli osiągała wartości w zakresie 7,7÷8,8 N dla wszystkich badanych odmian, za wyjątkiem odmian o dużych nasionach Longina (3,4 N) i Blanka (4,3 N).

Maksymalne wartości naprężeń rejestrowane dla poszczególnych odmian różnicowały je w większym stopniu, co potwierdzają osiągnięte wartości: 21,0 MPa (Laura), 8,96 MPa (Blanka), 31,43 MPa (Nida), 21,25 MPa (Prosna), 19,25 MPa (Segal) i 7,73 MPa (Longina).

Największą wartość siły skurczu F_s równą 8,8 N zaobserwowano dla okrywy nasion barwnych fasoli odmiany Nida, dla której zanotowano również najwyższy wzrost naprężeń; osiągający 31,43 MPa (Rys. 5).



Rys. 5. Naprężenia wywołane skurczem okrywy nasion fasoli odmian Nida, Blanka, Laura, Segal, Longina i Prosna w trakcie suszenia.

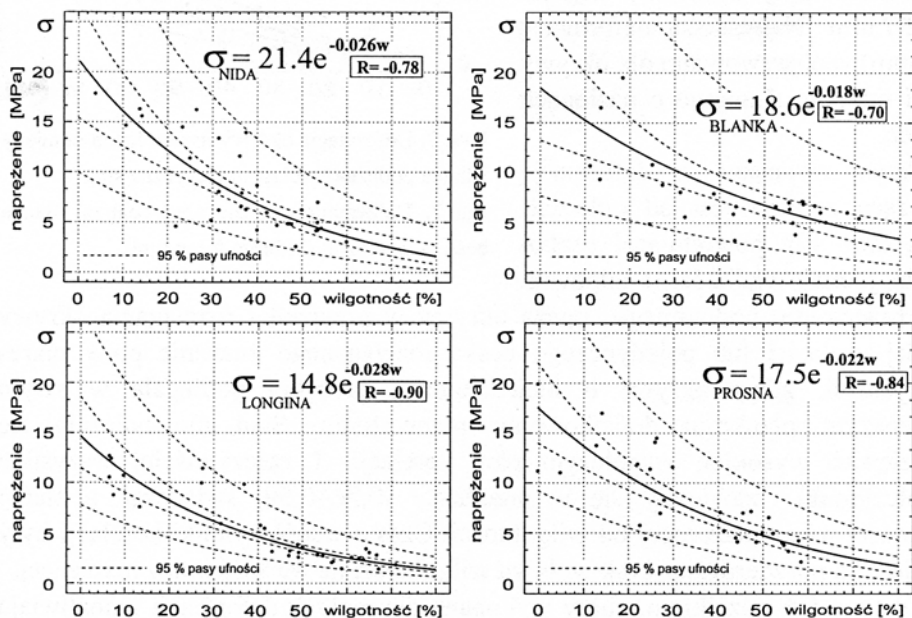
Fig. 5. The shrinkage stress of the seed coat at drying of Nida, Blanka, Laura, Segal, Longina, and Prosna bean.

Suszenie zimnym powietrzem powodowało również skurcz i wzrost naprężeń rozciągających w okrywie wszystkich badanych odmian nasion fasoli, lecz wartości te nie przekraczały 12 MPa, a dla większości z nich osiągały zaledwie 5÷8 MPa. Najmniejsze naprężenia podczas suszenia zimnym powietrzem zaobserwowano dla okrywy nasion fasoli odmiany Longina (5 N), natomiast odmiany strączkowe Laura i Segal kurczyły się podczas suszenia podobnie, niezależnie od temperatury i prędkości przepływu czynnika suszącego, powodując naprężenia na poziomie 13,8÷21,4 MPa.

Najbardziej drastyczne, spośród stosowanych w badaniach, warunki suszenia (62°C , $15,4\text{ m/s}$) powodowały gwałtowny wzrost naprężeń w okrywie nasion wszystkich badanych odmian, jednak tylko okrywa nasion fasoli odmian Blanka, Prosna i Longina ulegała uszkodzeniu. Suszenie zimnym powietrzem powodowało łagodny wzrost naprężeń do $12,7\text{ MPa}$, a w przypadku nasion fasoli odmiany Nida do $16,1\text{ MPa}$, wywołując skurcz lecz nie powodując uszkodzenia.

Bardzo ciekawe zjawisko wzrostu naprężeń w okrywie zaobserwowano podczas zmiany warunków suszenia. Najwyższy przyrost wartości siły skurczu spowodowany spadkiem temperatury o 40°C zanotowano dla okrywy nasion fasoli odmian: Nida – $8,6\text{ MPa}$ ($27,3\%$), Laura – $6,0\text{ MPa}$ ($28,6\%$) i Prosna – $4,7\text{ MPa}$ ($22,4\%$).

Wartość naprężeń niszczących rejestrowana w testach rozciągania okrywy wilgotnej dla nasion badanych odmian przyjmowała znacznie mniejsze wartości niż dla suchej i dla wszystkich odmian wraz ze spadkiem wilgotności wytrzymałość okrywy nasiennej wzrastała. Wartość naprężenia krytycznego w funkcji wilgotności dla wszystkich badanych odmian opisuje regresja wykładnicza



Rys. 6. Naprężenie krytyczne podczas rozciągania okrywy nasion fasoli odmian Nida, Blanka, Longina i Prosna.

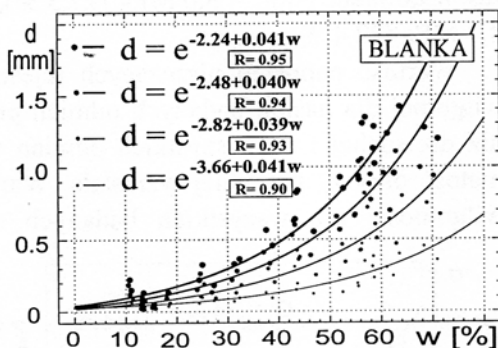
Fig. 6. Critical strength at tension of the seed coat of Nida, Blanka, Longina, and Prosna bean.

(Rys. 6). Podobne parametry równania zależności wykładniczej oraz współczynniki ujemnej regresji zanotowane dla okryw nasiennych badanych odmian, świadczą o zbliżonej wytrzymałości dla całego zakresu zmian wilgotności, jednak maksymalne wartości naprężeń krytycznych poszczególnych okryw były różnicowane i często rejestrowane przy różnym wydłużeniu próbki.

Maksymalne wydłużenie wycinka okrywy; czyli deformacja niszcząca, dla większości odmian przyjmowała wartości w zakresie od 1,7 mm do 3,7 mm i choć zależna była od wielkości nasion to jednak w największym stopniu zaobserwowano wpływ ich wilgotności. Zależność deformacji niszczącej od wilgotności również opisano regresją krzywo liniową, dla której najwyższe współczynniki korelacji otrzymano w przypadku funkcji wykładniczej. Podobne zależności obserwowano dla okrywy nasion badanych odmian fasoli. Okrywa nasion wilgotnych ulega uszkodzeniu przy deformacji sięgającej 2,7 mm. Największą deformację (3,7 mm) zaobserwowano dla okrywy fasoli odmiany Longina o nasionach dużych.

Praca związana z deformacją niszczącą zależna jest od odkształcenia oraz siły powodującej uszkodzenie, jednak wielkości te odpowiadały rozerwaniu podwójnego paska okrywy w przypadku rozciągania okrywy o stałej grubości lub pojedynczego paska rozciąganego znacznie poza zakres sprężystości, gdzie okrywa o niejednakowej grubości podlegała w swym najcieńszym przekroju dodatkowemu przewężeniu. Stąd nie należało się spodziewać wysokich współczynników korelacji. I rzeczywiście, wszystkie współczynniki zawierały się w przedziale $-0,36 \div 0,50$, świadcząc o słabej zależności pracy niszczącej od wilgotności. Często współczynniki korelacji były bliskie zera potwierdzając brak wpływu wilgotności na wartość pracy niszczącej.

Dlatego też wszelkie pomiary wykonane dla małych deformacji umożliwiają pomiar właściwości mechanicznych podwójnego paska okrywy w zakresie jej sprężystych odkształceń i gwarantują wyniki zależne od właściwości mechanicznych okrywy a nie od pola przekroju próbki. Potwierdzają to także wartości deformacji uzyskane dla progowych poziomów wartości sił obciążających

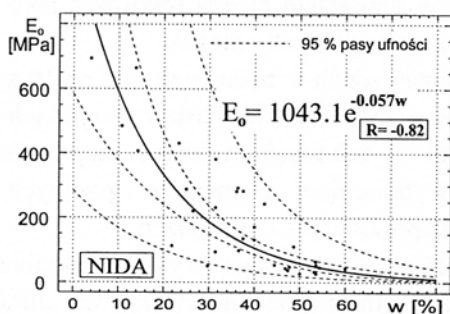


Rys. 7. Deformacja okrywy nasion fasoli odmiany Blanka podczas rozciągania jej różną siłą.

Fig. 7. Deformation of the seed coat of Blanka bean at tension at different force limit.

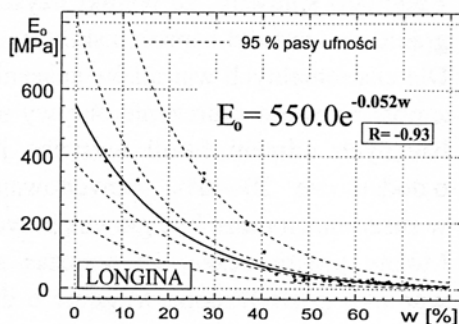
(0,2, 0,4, 0,6 i 0,8 N). Deformacja rozciąganej okrywy nasion fasoli odmiany Blanka (Rys. 7) wyznaczona dla powyższych wartości progowych siły wskazuje silną dodatnią korelację z wilgotnością. Rosnące wartości współczynników korelacji od $R=0,90$ dla 0,2 N do $R=0,95$ dla 0,8 N świadczą o wstępnym układaniu się i prostowaniu paska okrywy w uchwytach dla mniejszych wartości progowych sił. Podobne współczynniki korelacji otrzymano dla pozostałych odmian fasoli.

Stwierdzono, że zależność wartości modułu sprężystości wzdłużnej okrywy nasiennej badanych odmian roślin strączkowych od wilgotności najlepiej opisują równania regresji wykładniczej. Najwyższe wartości modułu sprężystości (698 MPa) otrzymano dla barwnej okrywy nasion fasoli odmiany Nida (Rys. 8) przy wilgotności 4 % oraz dla okrywy nasion fasoli odmiany Longina (Rys. 9), dla której zanotowano wartości 392÷411 MPa przy wilgotności 6 %.



Rys. 8. Moduł sprężystości okrywy nasion fasoli odmiany Nida.

Fig. 8. Modulus of elasticity of the seed coat of Nida bean.



Rys. 9. Moduł sprężystości okrywy nasion fasoli odmiany Longina.

Fig. 9. Modulus of elasticity of the seed coat of Longina bean.

Korzystając z prostych zależności oraz prawa Hooke'a rejestrowane wartości deformacji (wydłużenia) oraz siły w zakresie odkształceń sprężystych rozciąganej okrywy pozwalają wyznaczyć jej moduł sprężystości. W tym przypadku, w zakresie niewielkich odkształceń, rozciąganiu podlegały obie strony paska okrywy; stąd można było oczekiwać prawidłowej interpretacji wyników, co potwierdzają wysokie wartości bezwzględne współczynników korelacji. Wyznaczone tym sposobem wartości modułu sprężystości suchej okrywy nasion dla większości badanych odmian zawierały się w przedziale 210÷420 MPa. Wilgotna okrywa nasienna charakteryzowała się niską wytrzymałością na rozciąganie; stąd i wartości modułu sprężystości spadały często poniżej 25 MPa.

WNIOSKI

1. Wzrost naprężeń skurczu suszonej okrywy nasion fasoli uzależniony jest od parametrów czynnika suszącego. Czas po którym okrywa ulega skurczowi jest wprost proporcjonalny do temperatury i prędkości przepływu czynnika suszącego, a wielkość skurczu oraz powstałych naprężeń jest tym większa im większa jest prędkość przepływu ogrzanego powietrza i jego temperatura.
2. Wyznaczone wartości modułu sprężystości suchej okrywy badanych odmian fasoli zawierały się w przedziale 210÷420 MPa. Najwyższe wartości modułu sprężystości (700 MPa) otrzymano dla barwnej okrywy nasion fasoli odmiany Nida.
3. Trudności w przygotowaniu próbek o ściśle żądanym poziomie wilgotności (mimo ważenia próbek przed i po suszeniu oraz 33 powtórzeń dla każdej z odmian) sprawiły, że wyniki uzyskane w tym teście należy traktować jako graniczne wartości naprężeń skurczu dla poszczególnych odmian.
4. Dla ekstremalnych warunków suszenia stosowanych w badaniach już po 10 s zaobserwowano skurczenie okrywy nawet o 15%. Okrywa nasion wszystkich badanych odmian fasoli wysycha już po 2 minutach, a wzrost naprężeń o dodatkowe 20÷40% spowodowany wyłączeniem elementów grzejnych w suszarniach może być główną przyczyną powstawania uszkodzeń.
5. Można przypuszczać, że podczas suszenia nasion mogą wystąpić skrajne warunki, gdzie nasiona wilgotne o dużej objętości otoczone są okrywą, która zbyt gwałtownie suszona skurczy się i wystąpią naprężenia powodujące jej pęknięcie, wymaga to jednak wykorzystania wyników uzyskanych w poszczególnych testach do badań modelowych w celu określenia przyczyn powstawania uszkodzeń oraz wyjaśnienia ich mechanizmu.

PIŚMIENNICTWO

1. **Davison E., Meiering A.G., Middendorf F.J.:** A theoretical stress model of rapeseed. *Canad. Agric. Eng.*, 45-46, 1979.
2. **Davison E., Meiering A.G., Middendorf F.J.:** Die Festigkeit der Samenschale von Rapskornern bei mechanischer Druckbelastung. *Grundl. Landtechnik*, 181-184, 1980.
3. **Dobrzański B.:** Wpływ wilgotności nasion grochu na ich właściwości mechaniczne. *Biul. IHAR*, 153, 75-78, 1984.
4. **Dobrzański, jr. B.:** Metodyczne aspekty oceny mechanicznych właściwości nasion grochu. Instytut Agrofizyki PAN, 1-103, 1990.

5. **Dobrzański, jr. B.:** Theoretical model of large deformation of compressed rapeseed. Proceedings of 8th GCIRC, Saskatoon, Canada, v.4, 1261-1266, 1991.
6. **Dobrzański, jr. B., Stępniewski A.:** Modulus of elasticity of rapeseed shell. Proceedings of 8th GCIRC, Saskatoon, Canada, v.4, 1256-1260, 1991.
7. **Dobrzański, jr. B.:** Geometrical dependences of seed shell of compressed pea. Int. Agrophysics, 7(4):259-264, 1993.
8. **Dobrzański, jr. B., Szot B.:** Strength of pea seed cover. Int. Agrophysics, 11, 301-306, 1997.
9. **Dobrzański, jr. B.:** Mechanizmy powstawania uszkodzeń nasion roślin strączkowych. Acta Agrophysica, 13, 1-96, 1998.
10. **Dobrzański, jr. B.:** Ścinanie okrywy - mechanizm pęknięcia nasion roślin strączkowych. Inżynieria Rolnicza, 6(17), 125-132, 2000.
11. **Dobrzański, jr. B.:** Wpływ parametrów suszenia na właściwości mechaniczne okrywy nasion bobu i bobiku. Fragmenta Agronomica, 8, 63-74, 2000.
12. **Dobrzański, jr. B., Rybczyński R.:** Zastosowanie ekstensometru w badaniach agrofizycznych. Jub. Międz. Konf. Nauk. XXX lat Wydz. Tech. Rol. AR w Lublinie, 322-323, 2000.
13. **Dobrzański, jr., B.:** Ekstensometryczny pomiar odkształcenia nasion grochu - weryfikacja eksperymentalna modelu deformacji postaciowej. Inżynieria Rolnicza, 2(22), 31-39, 2001.
14. **Dobrzański, jr. B.:** Model skurczu okrywy oraz analiza naprężeń podczas suszenia nasion roślin strączkowych. Acta Agrophysica, 57, 2001.
15. **Dobrzański, jr. B., Szot B.:** Wykorzystanie mikroskopii skaningowej w ocenie wytrzymałości mechanicznej okrywy nasiennej soi, grochu i soczewicy. Acta Agrophysica, 57, 2001.
16. **Dorell D.G., Adams M.W.:** Effect of some seed characteristic on mechanically included seedcoat damage in navy beans. Agron. J., 61, 5, 672-673, 1969.
17. **Fornal J., Sadowska J., Kaczyńska B.:** Damage of faba bean seeds during drying. Drying Technol. 11, 6, 1293-1309, 1993.
18. **Grochowicz J., Nadulski R., Bilanski W.K.:** Testing of leguminous seed coat microhardness. Int. Agrophysics, 8, 235-237, 1994.
19. **Haman D.Z., Burgess G.J.:** Theoretical development for measuring the elastic properties of spherical cuticular membranes. Transaction of the ASAE, 29, 1470-1476, 1986.
20. **Haman J., Dobrzański B., Szot B., Stępniewski A.:** Strength of shell in compression test of rapeseed. Int. Agrophysics, 8, 2, 245-250, 1994.
21. **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.
22. **Liu M., Haghghi K., Stroshine R.L.:** Viscoelastic characterization of the soybean seedcoat. Trans. ASAE 32(3): 946-952, 1989.

23. **Mensah J.K., Nelson G.L., Herum F.L., Richard T.G.:** Mechanical properties related to soybean seedcoat cracking during drying. *Trans. ASAE*, 27(2):550-560, 1984.
24. **Otten L., Brown R., Reid W.S.:** Drying of white beans-effect of temperature and relative humidity on seed coat damage. *Canad. Agric. Eng.*, 26, 101-104, 1984.
25. **Rybczyński R.:** Zastosowanie testu rozciągania w badaniach mechanicznej wytrzymałości tkanki okrywającej. *Wydawnictwa Naukowe FRNA*, 2, 153-160, 1999.
26. **Szot B., Dobrzański B., Stępniewski A.:** Changes of strain and stress of pea coat during drying. *Proceedings of the 4ICPP Agricultural Materials*, Rostock, Niemcy, 824-828, 1989.
27. **White G.M., Bridges T.C., Loewer O.J., Ross I.J.:** Seed coat damage in thin-layer drying of soybeans. *Trans. ASAE* 23(1):224-227, 1980.

THE EXPERIMENTAL STUDY OF THE STRESS, SHRINKAGE, AND STRENGTH OF THE BEAN COAT

B. Dobrzański, jr., R. Rybczyński

B. Dobrzański Institute of Agrophysics Polish Academy of Sciences
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
bdob@demeter.ipan.lublin.pl

Summary. The objective of this study was to elaborate and apply some methods for the estimation of the mechanical properties of the seed coat. The shrinkage and its stress involved by drying or tension was collected as the shrinkage-time curve, stress-time curve, and strength-moisture relationship. The shrinkage-time curve was obtained with strain gauge extensometer at drying process. The stress-time curve obtained with the Instron machine was based on the isometric measurement of the force induced by a shrinkage at drying. The strength-moisture relationship was formed by the collection of the strength values of the seed coat at differ moisture, based on the force-deformation curve obtained at tension.

French bean and bean (*Phaseolus L.*) cultivars were obtained to study the effect of drying conditions on the stress and shrinkage of the seed coat. The experimental results concerning with strength of the seed coat proved that frequently the stress σ_s was higher than its strength R_m at tension. It was observed, that moisture content is most influential factor on the strength of the seed coat at tension and increase of the moisture decreases its strength. All results of the experimental study were utilise for verification of a model describing the cracking mechanism at drying of grain legume.

Keywords: Grain legume, seed model at drying, seed coat stress, shrinkage.