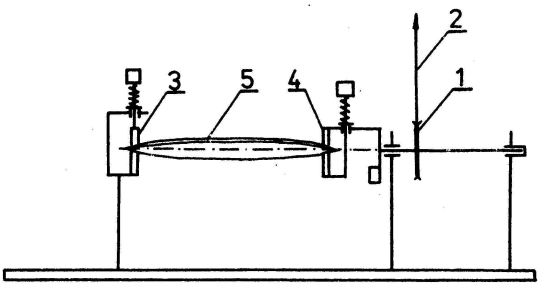
Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 1987 z. 321

METODYKA BADAŃ MECHANICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI ŁUSZCZYN I ŁODYG RZEPAKU

Bogusław Szot, Jerzy Tys

Zakład Agrofizyki PAN w Lublinie

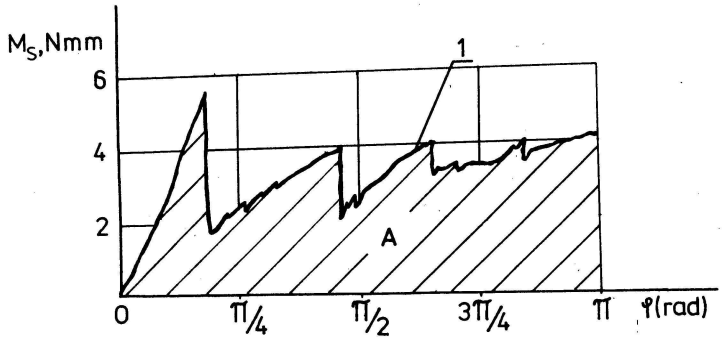
Osypywanie się nasion, jakkolwiek znane rolnikom od dawna, powoduje corocznie duże straty materiału siewnego i konsumpcyjnego. W przypadku rzepaku ozimego straty te szacowane są na 4-20% całkowitego plonu i są uzależnione od wielu



Rys. 1. Przystawka do skręcania łuszczyn rzepaku: 1 - krążek, 2 - linka, 3 - uchwyt nieruchomy, 4 - uchwyt ruchomy, 5 - łuszczyna

Fig. 1. Device for twisting rape siliques: 1 - dist, 2 - line, 3 - fixed holder, 4 - movable holder, 5 - silique

czynników [6]. Stanowi to niewątpliwie problem, którego choćby częściowe rozwiązanie przysporzyć może znacznych ilości cennego surowca. Jednakże prace zmierzające do tego celu powinny skoncentrować się na dwóch podstawowych kierunkach, obejmujących hodowlę roślin i technologię zbioru. Na podstawie dostępnej literatury można jednoznacznie stwierdzić, że hodowcy nowych odmian dysponują bardzo skromną bazą metodyczną, uniemożliwiającą obiektywne określenie cech mechanicznych roślin w powiązaniu z procesami zbioru i omłotu. W pracach Tomaszewskiej [5], Lööła [2], czy Jakubca [1] wytrzymałość łuszczyn na pękanie była wprawdzie określona, lecz w sposób pośredni, co powodowało brak możliwości porównywania otrzymanych wyników tak w okresie kilku lat, jak i między stosowanymi metodami.

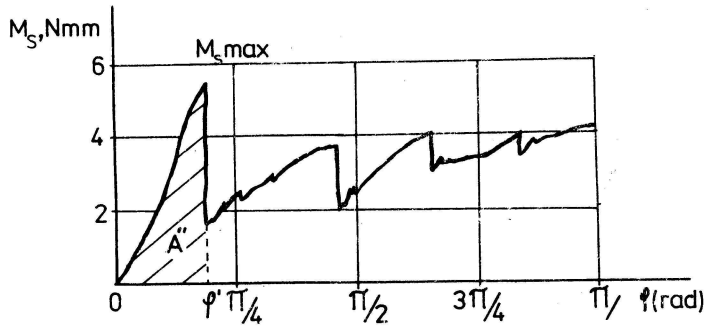


Rys. 2. Przebieg zmian momentu skręcającego w funkcji kąta skręcania, wyznaczający energię potrzebną do całkowitego otwarcia łuszczyny (pokonania oporu spoistości szwów oraz sprężystości łuszczyny w procesie skręcania): M_s - moment skręcający, φ - kąt skręcenia, 1 - krzywa powstała przy pierwszym skręceniu łuszczyny

Fig. 2. Variability of torque in the function of twisting angle, determining the energy needed for complete silique opening (overcoming the silique seams cohesion and silique elasticity in twisting process): M_s - torque, φ - twisting angle, 1 - curve plotted during initial silique twisting

Badania cech mechanicznych, polegające na skręcaniu łuszczyn i określaniu ich parametrów wytrzymałościowych, prowadzono w Wyższej Szkole Rolniczej w Pradze [3] oraz w Zakładzie Agrofizyki PAN w Lublinie [4]. Metoda ta umożliwia precyzyjne określenie stopnia wytrzymałości łuszczyn na pękanie w zależności od warunków agrotechnicznych.

Badania mechanicznych właściwości łuszczyn rzepaku przeprowadzono na aparaturze wytrzymałościowej INSTRON w specjalnie do tego celu skonstruowanej przystawce (rys. 1), która składa się z podstawy i układu skręcającego. Podstawowymi elementami układu są: krążek (1) o promieniu r - 8 mm z nawiniętą linką (2) połączoną swobodnym końcem z głowicą pomiarową aparatury oraz dwa uchwyty do mocowania łuszczyn, z których jeden jest unieruchomiony, a drugi (4) obraca się na jednej osi z umocowanym krążkiem. Odległość między uchwytami wynosi 50 mm.



Rys. 3. Przebieg zmian momentu skręcającego w funkcji kąta skręcenia, wyznaczający energię pierwszego pęknięcia łuszczyny: $M_s$max - maksymalny moment skręcający przy którym nastąpiło pierwsze pęknięcie łuszczyny (N mm); φ'- kąt skręcenia przy którym następuje pierwsze pęknięcie łuszczyny (rad). Dalszy opis jak na rysunku 2

Fig. 3. Variability of torque in the function of twisting angle determining the energy of initial silique cracking: $M_s$max - maximum torque at which initial silique cracking occurred (Nmm), φ'- twisting angle at which initial silique cracking occurred (rad). Remaining explanations as in Fig. 2.

Zasada działania układu pomiarowego polegała na stopniowym narastaniu siły oddziałującej na linkę wprowadzającą w ruch obrotowy krążek połączony z jednym z uchwytów. Pomiary przeprowadzano w ten sposób, że łuszczyny rzepaku umieszczano w uchwytach układu skręcającego i pod działaniem siły skręcano je o stały kąt $\varphi = \pi$rad. Powodowało to całkowite pęknięcie szwów łuszczyny. Następnie zwalniano działanie siły, co powodowało swobodny powrót łuszczyny do pozycji wyjściowej (dzięki siłom sprężystości) i powtórnie skręcano ją o ten sam kąt. W rezultacie z rejestratora aparatury INSTRON otrzymano wykres przebiegu momentu siły M_s w funkcji kąta skręcenia φ (rys. 2). Krzywa 1 - powstała przy pierwszym skręcaniu przedstawia przebieg siły, która pokonuje opór sprężystości łuszczyny w procesie skręcania oraz opór spoistości szwów łączących obie klapy (owocolistki) łuszczyny. W początkowym stadium wykres ma przebieg liniowy, czyli kąt skręcania jest proporcjonalny do momentu skręcającego. Po osiągnięciu wartości krytycznej $M_s$max następuje pierwsze pęknięcie łuszczyny, występujące najczęściej u jej nasady i przebiegające wzdłuż szwów. Na podstawie $M_s$max i kąta φ'(rys. 3) obliczono niezbędną wartość energii potrzebnej do pierwszego pęknięcia łuszczyny (A"). Energię tę określono wzorem:

$$A'' = \frac{M_s\max \cdot \varphi'}{2}$$

gdzie:

A" - energia pierwszego pęknięcia łuszczyny (mJ),

$M_s max$ - maksymalny moment skręcający (Nmm),

φ' - kąt, przy którym nastąpiło pierwsze pęknięcie łuszczyny (rad).

Dalsze skręcanie łuszczyny aż do ustalonej granicy, tzn. do $\varphi = \pi$rad, powoduje kolejne pęknięcie, widoczne na wykresie w postaci charakterystycznych uskoków, aż do całkowitego pęknięcia szwów łączących klapy. Pole leżące pod krzywą 1 i przedstawiające wartość energii A potrzebnej do pokonania oporu sprężystości łuszczyny i spoistości szwów obliczono ze wzoru:

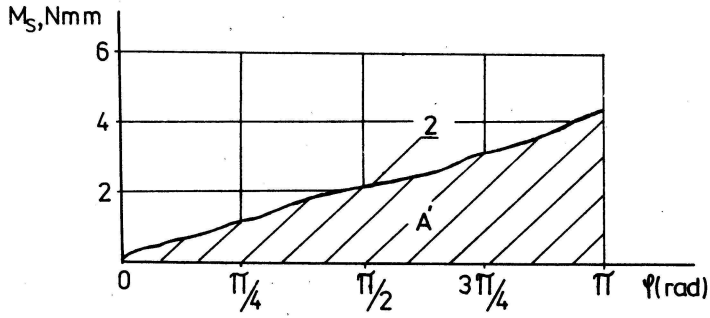
$$A = \int_0^{\varphi} M_s d\varphi$$

gdzie:

A - energia pierwszego pęknięcia (mJ),

φ - całkowity kąt skręcenia (rad)

M_s - moment skręcający pierwszego skręcenia (N mm)



Rys. 4. Przebieg momentu skręcającego w funkcji kąta skręcenia, wyznaczający energię pokonującą opór sprężystości pękniętej już łuszczyny: 2 - krzywa powstała przy drugim skręceniu łuszczyny. Dalszy opis, jak na rysunku 2

Fig. 4. Torque in the function of twisting angle determining the energy overcoming elasticity resistance of silique after cracking: 2 - curve plotted during second silique twisting. Remaining explanations as in Fig. 2.

Krzywa powstała przy drugim skręceniu (rys. 4) przedstawia wartość momentu siły, która pokonuje tylko opór sprężystości pękniętej już łuszczyny. Pole leżące pod krzywą - 2 przedstawia energię potrzebną do ponownego skręcenia pękniętej łuszczyny, którą określono wzorem:

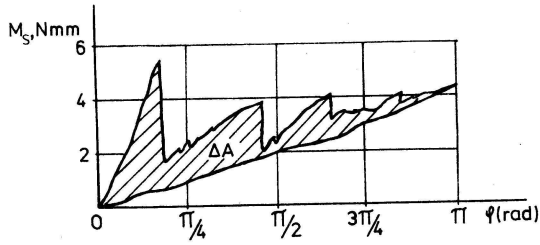
$$A' = \int_0^{\varphi} M_s' d\varphi$$

gdzie:

A' - energia drugiego skręcenia (mJ),

φ - całkowity kąt skręcenia (rad),

M_s' - moment skręcający drugiego skręcenia (N mm).



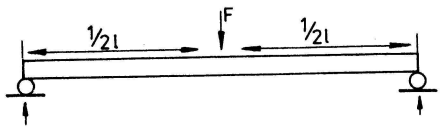
Rys. 5. Wartość energii potrzebnej do pokonania oporu spoistości szwów łuszczyny ($\Delta A = A - A'$). Opis jak na rysunku 2

Fig. 5. Value of energy needed to overcome silique seams cohesion resistance ($\Delta A = A - A'$). Explanations as in Fig. 2

Różnica tych wartości $\Delta A = A - A'$ (rys. 5) będzie więc wielkością energii potrzebnej do całkowitego pęknięcia szwów i odchylenia klap łuszczyny - określana jako wytrzymałość szwów na pękanie.

Charakterystykę mechanicznych właściwości łodyg rzepaku uzyskano poprzez wyznaczenie sztywności (K), maksymalnego naprężenia ścinającego (τ) oraz maksymalnej siły gnącej (Fg) i maksymalnej siły tnącej ($F_c$max). Uznano, że parametry te stanowią odpowiednią ocenę łodyg pod kątem ich odporności na wyleganie oraz stanowić mogą dodatkową informację dla programowania procesów technologicznych.

W celu określenia sztywności łodyg zastosowano teorię zginania belki sprężystej wewnątrz pustej o przekroju kołowym, podpartej na dwóch końcach (rys. 6). Zgodnie z tą teorią sztywność zginania określono wg wzoru:



Rys. 6. Schemat zginania łodygi rzepaku: F - siła zginająca, l długość odcinka zginającego

Fig. 6. Diagram of rape stalk bending: F - bending force, l - length of the bending section

$$K = \frac{F_o l^3}{48y}$$

gdzie:

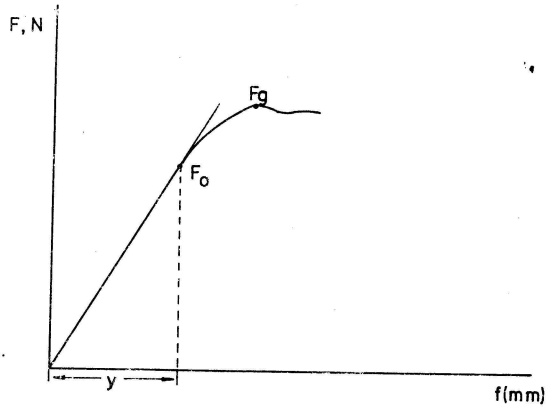
$K = E \cdot J$ - sztywność łodygi (N mm^2),

F_o - siła zginająca odcinek źdźbła na stycznej w zakresie odkształceń sprężystych

y - strzałka ugięcia (mm),

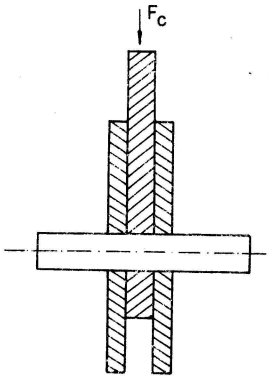
l - długość odcinka łodygi (mm).

Pomiary przeprowadzono w ten sposób, że na odcinki łodyg działano siłą aż do momentu złamania próbki, stosując przy tym odpowiednie podpory. Przebieg od-



Rys. 7. Przebieg siły zginającej łodygę rzepaku: F_g - maksymalna siła zginająca (N), F_o - siła zginająca w zakresie odkształceń sprężystych (N), y - maksymalna strzałka ugięcia w zakresie odkształceń sprężystych (mm), f - strzałka ugięcia

Fig. 7. Rape stalk bending force: F_g - maximum bending force (N), F_o - deflection force, y - maximum deflection in the range of elastic deformations (mm), f - deflection



Rys. 8. Schemat ścinania łodygi rzepaku, F_c - siła zginająca

Fig. 8. Diagram of rape stalk shearing. F_c - bending force

kształcenia łodygi w trakcie działania siły uzyskiwano z wykresów rejestratora (rys. 7), odczytując wartość siły F_g oraz siły F_o na stycznej w zakresie odkształceń sprężystych oraz strzałkę ugięcia y.

Dla wyznaczenia naprężeń tnących oraz maksymalnej siły tnącej badane próbki łodyg roślin rzepaku poddawano procesowi cięcia przy użyciu odpowiedniej przystawki (rys. 8) dostosowanej do różnego przekroju łodyg. Składała się ona z dwóch płytek metalowych, połączonych ze sobą w ten sposób, że ich ściany wewnętrzne tworzą komorę, w której swobodnie, ale bez zbędnych luzów porusza się płaski tłok. W płytkach oraz tłoku nawiercono otwory o różnym przekroju (Ø 3-12 mm), co gwarantuje cięcie łodyg o różnej grubości. Ponieważ w omawianym przypadku pod działaniem siły F na tłok równomiernemu ścinaniu ulegały jednocześnie dwa przekroje poprzeczne łodygi, więc naprężenie tnące (τ_{max}) obliczono według wzoru:

$$\tau = \frac{2F_c max}{d^2}$$

gdzie:

τ - maksymalne naprężenie ścinające (N/mm^2),

$F_c max$ - maksymalna siła tnąca (N),

d - średnica łodygi w miejscu cięcia (mm).

Opracowana metoda pomiaru cech wytrzymałościowych łuszczyn i łodyg rzepaku umożliwia wyodrębnienie kilku istotnych parametrów mechanicznych, pozwalających na obiektywną charakterystykę łuszczyn i łodyg rzepaku pod kątem oceny podatności na osypywanie nasion. Uzyskane bezwzględne wartości parametrów umożliwiają opracowanie wskaźników, które mogą być przydatne zarówno w hodowli roślin i praktyce rolniczej. Otrzymane na podstawie pomiarów wyniki badań trzech odmian rzepaku ozimego (Górczański, Garant, Janpol) wskazują na znaczne zróżnicowanie parametrów charakteryzujących mechaniczne właściwości łuszczyn rzepaku (tab. 1). Najwyższe wartości parametrów wytrzymałościowych stwierdzono dla odmiany Garant. Rzepak ten wykazuje zatem najkorzystniejsze cechy mechaniczne w porównaniu z pozostałymi. Natomiast najniższe wartości zanotowano dla rzepaku Janpol, którego łuszczyny pękają przy działaniu niewielkich sił zewnętrznych. Dotyczy to zarówno energii powodującej pierwsze i całkowite pęknięcie łuszczyny, jak i wytrzymałości szwów. Natomiast badania mechanicznych właściwości łodyg rzepaku wykazały, że najwyższymi wartościami parametrów wytrzymałościowych charakteryzowała się odmiana Górczański (tab. 2). Odbiega ona wyraźnie od pozostałych przy ocenie wszystkich parametrów mechanicznych.

Należy przypuszczać, że poszerzenie badań tego typu przyczyni się do pełniejszej analizy otrzymanych wartości, poszukiwań korelacji między poszczególny-

Tabela 1

Średnie wartości parametrów charakteryzujących mechaniczne właściwości łuszczyn rzepaku

Average values of parameters characterizing the mechanical properties of rape stalks

Odmiana	A mJ	ΔA mJ	A" mJ	$M_s max$ Nmm	φ rad
Górczański	17,03	8,04	1,40	6,94	0,41
Garant	20,01	8,94	3,64	9,50	0,73
Janpol	16,30	6,67	0,59	6,11	0,50

Tabela 2

Średnie wartości parametrów charakteryzujących mechaniczne właściwości łodyg rzepaku

Average values of parameters characterizing the mechanical properties of rape stalks

Odmiana	F_c N	F_g N	τ_{max} N/mm^2	K x 10^4 N mm^2
Górczański	658,9	33,5	2,95	17,2
Garant	575,6	19,7	2,22	9,2
Janpol	490,6	20,5	2,88	10,5

mi parametrami mechanicznymi i cechami morfologicznymi oraz bardziej wnikliwej charakterystyki odmian pod kątem opracowania takich systemów agrotechnicznych i technologii zbioru, aby ograniczyć do minimum straty ilościowe nasion w czasie dojrzewania roślin i zbioru.

Piśmiennictwo

1. Jakubiec J., Ruhowicz K.: Wstępne badania nad rzepakiem o trudnopękających łuszczynach i jego przydatność do zbioru kombajnowego. Hodowla Roślin Aklimatyzacja i Nasiennictwo, 1957, t. 1, z. 5-6, 703-721.
2. Lööf B.: Platzfestigkeit als Zuchtproblem bei Olpflanzen der Familie Cruciferae. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung, 1961, z. 4, 405-416.
3. Řezniček R.: Examination of agrophysical properties of rape. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. z. 203, 1978, 253-262.
4. Szot B., Tys J.: Przyczyny osypywania się nasion roślin oleistych i strączkowych oraz metody oceny tego zjawiska. Probl. Agrofiz. nr 29, 1979.

5. Tomaszewska Z.: Badania morfologiczne i anatomiczne łuszczyn kilku odmian rzepaku i rzepiku ozimego oraz przyczyny i mechanizm ich pękania. Hodowla Roślin Aklimatyzacja i Nasiennictwo, 1964, t. 8, z. 2, 147-180.
6. Tys J.: Ocena cech mechanicznych rzepaku w aspekcie podatności łuszczyn na pękanie - praca doktorska, maszynopis, Zakład Agrofizyki PAN w Lublinie, 1983.

B. Szot, J. Tys.

METHODOLOGY OF INVESTIGATIONS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF RAPE SILIQUES AND STALKS

Summary

A methodology has been designed for the evaluation of the physical properties of rape siliques and stalks, consisting in measuring their mechanical parameters using the INSTRON strength measuring apparatus.

The susceptibility of siliques to cracking was determined by their twisting during which the seams joining the halves of the silique parted, and the graph registered by the recorder of the apparatus was used to calculate:

- the energy required for the whole silique to crack, i.e. to overcome the resistance of shell elasticity and seam cohesion (A)
- the energy required to overcome the resistance of silique seam cohesion (ΔA)
- the energy required for the first crack of the silique (A")
- the maximum torque at which the first crack of the silique takes place ($M_s max$).

Also, some mechanical properties of the stalks were determined by calculating their rigidity (k) and the maximum bending force (F_g) in the process of bending, as well as the maximum shearing stress (τ) and the cutting force (F_c) during the process of technological shearing.

Б. Шот, Е. Тыс

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРУЧКОВ И СТЕБЛЕЙ РАПСА

Резюме

Разработано методику оценки физических свойств стручков и стеблей рапса, заключающуюся в измерении их механических параметров с применением прочностной аппаратуры ИНСТРОН. Податливость стручков к растрескиванию определяли через их скручивание, во время которого растрескивались швы, соединяющие крышки стручка, а из диаграммы,

возникшей в регистраторе аппаратуры, подсчитали: энергию, нужную для растрескивания всего стручка, т.е. преодоления сопротивления упругости стручков и плотности их швов (A); энергию, нужную для преодоления сопротивления плотности швов стручка (ΔA); энергию, нужную для первого растрескания стручка (A"); максимальный скручивающий момент, при котором следует первое растрескание стручка ($M_s$max). Определили также некоторые механические свойства стеблей, подсчитывая их жесткость (k) и максимальную изгибающую силу (F_g) в процессе изгибания, а также максимальное срезывающее напряжение (τ) и срезывающую силу (F_c) во время процесса технологической срезки.