

METODY OKREŚLANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ŻDŹBŁA ROŚLIN ZBOŻOWYCH

Roman Koper

Akademia Rolnicza w Lublinie

Synopsis: W pracy przedstawiono metody badań doświadczalnych i teoretycznych podstawowych właściwości mechanicznych źdźbła wybranych roślin zbożowych. Skoncentrowano się głównie na metodach eksperymentalnych określania wartości modułów sprężystości w poszczególnych odcinkach źdźbła. Opisano metody oparte na próbach zginania i rozciągania oraz metodę propagacji fal ultradźwiękowych w badanych odcinkach źdźbeł.

Słowa kluczowe: źdźbła roślin zbożowych, własności mechaniczne, moduł sprężystości źdźbła, zginanie źdźbła, rozciąganie źdźbła, propagacja fali ultradźwiękowej.

Wstęp

Szeroko obecnie stosowana mechanizacja zbioru roślin zbożowych, jak i potrzeba wyjaśnienia przyczyn powstawania zjawiska wylegania spowodowały, że badania właściwości mechanicznych źdźbeł roślin zbożowych bardzo rozwinęły się zwłaszcza w ostatnim dwudziestolecu. Większość badań doświadczalnych przeprowadzono metodą niszczącą, wykonując je na odpowiednio przygotowanych próbkach wyciętych z źdźbła zboża [1, 2, 3, 4, 7, 9, 10]. Starano się w nich określić wartość modułu sprężystości poszczególnych odcinków źdźbła, sztywność całego źdźbła oraz siłę powodującą jego złamanie.

Koncentrowano się również na pracach czysto teoretycznych mających na celu wypracowanie metody pomiarowej przydatnej do tego rodzaju badań [5, 6]. Oceniając skuteczność dotychczas stosowanych metod do określania stopnia

odporności źdźbeł zbóż na wyleganie uznać je należy jako niewystarczające. Pogląd taki uzasadnić można tym, iż dotychczas stosowane metody określania stałych sprężystych źdźbeł roślin zbożowych nie spełniały warunków uzyskiwania wyników właściwie opisujących stan rzeczywisty. Dodać przy tym należy, że w dotychczasowych metodach wyznaczania stałych sprężystych źdźbeł zboża nie rozpatrywano wpływu wszystkich parametrów geometrycznych źdźbeł na otrzymane wyniki badań. Utrudniło to w znacznej mierze określenie właściwych kryteriów oceny stopnia odporności na wyleganie źdźbeł roślin zbożowych.

Metody badań

Eksperymentalne badania właściwości mechanicznych źdźbeł zboża przeprowadzone przez Huisemana [4] miały na celu określenie modułów sprężystości źdźbeł zbóż i ich wpływu na efektywność pracy zespołów roboczych kombajnu zbożowego. Badania te wykonywane były na próbkach o długości 12 cm wyciętych z pierwszego lub drugiego międzywęźla licząc od kłosa. Skonstruowane specjalnie do tych badań urządzenie pomiarowe umożliwiło zarówno pomiar średnicy zewnętrznej łodygi (D), jak i przeprowadzenie zginania próbki źdźbeł leżącej swobodnie na dwóch podporach, obciążonej pośrodku siłą skupioną.

Sztywność źdźbeł liczone ze wzoru:

$$EJ = \frac{1}{48} \cdot l^3 \cdot \frac{F}{X} \quad (1)$$

gdzie: F - siła działająca na źdźbło,
 J - moment bezwładności,
 X - strzałka ugięcia próbki źdźbeł,
 E - moduł Younga,
 l - odległość między podporami.

Moment bezwładności obliczono jak dla pierścienia

$$J = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad (2)$$

Średnicę wewnętrzną (d) źdźbeł wyliczono z zależności

$$d = a \cdot D \quad (3)$$

gdzie: współczynnik a liczone na podstawie ciężaru właściwego i szacunkowej gęstości badanego źdźbeł. Do obliczeń przyjęto $a = 0,95$.

Przedstawione wyżej wartości modułów sprężystości podłużnej badanych międzywęźli źdźbła pszenicy i owsa wskazują, że wartości modułów sprężystości podłużnej źdźbła mieszczą się w zbliżonych zakresach, niezależnie od odmiany i lat zbioru. Jednakże uzyskane przez Huisemana wyniki nie opisują w pełni właściwości mechanicznych źdźbła, gdyż odnoszą się one tylko do dwóch międzywęźli leżących przy kłosie.

Moduł Younga źdźbła roślin zbożowych badali metodą rozciągania próbki wyciętej z dowolnego miejsca źdźbła zboża Mohsenin [7] i Ahlgrimm [1]. Wartość modułu Younga wyznaczano w tych pracach stosując prostą teorię Hooke'a. Otrzymane wyniki charakteryzowała duża rozbieżność wartości modułów Younga, która zawierała się w granicach od 150 MPa do 25 000 MPa.

Wartość modułów sprężystości podłużnej odcinków różnych międzywęźli źdźbeł pszenicy badali Gowin, Haman i Koper [3]. W badaniach tych wartości modułów sprężystości wyznaczane były z prób zginania odcinków źdźbeł zamocowanych w jednym końcu. Siła powodująca zginanie badanego odcinka źdźbła przykładana była w drugim końcu tego odcinka. Strzałka ugięcia źdźbła określona była przy użyciu metody interferometrii holograficznej. Metoda ta pozwoliła na pomiar z wysoką dokładnością. Dawała też możliwość utrzymywania badanego odcinka źdźbła w stanie odkształceń sprężystych.

Wartość modułu sprężystości podłużnej badanych odcinków źdźbeł obliczono ze wzoru:

$$E = \frac{F \cdot l^3}{3J_y \cdot f} \quad (4)$$

gdzie: E - moduł sprężystości podłużnej,

F - siła obciążająca,

l - odległość od punktu przyłożenia siły do miejsca utwierdzenia,

J_y - moment bezwładności przekroju poprzecznego belki względem osi obojętnej,

f - wielkość strzałki ugięcia w miejscu przyłożenia siły.

Impulsową metodę ultradźwiękową do wyznaczania modułu Younga źdźbła zboża zastosowała w swych badaniach Gawda [2]. Metoda ta wykorzystuje zjawisko zależności prędkości rozchodzenia się fal ultradźwiękowych w źdźble, a ściślej - w tkankach mechanicznych źdźbła, od jego właściwości sprężystych. Dla określenia modułu Younga wykorzystano następujący wzór:

gdzie: E - moduł Younga,

ρ - gęstość źdźbła,

$$E = \rho \cdot c^2 \quad (5)$$

c - prędkość rozchodzenia się fal ultradźwiękowych.

W pracy tej przebadane były odcinki źdźbła wszystkich międzywęzli (bez uwzględnienia węzłów) pszenicy odmiany Aurora z okresu kłoszenia i dojrzałości pełnej. Otrzymane wartości modułu Younga wahały się w granicach 160 MPa - 12 000 MPa.

Badania przyczyny wylegania zbóż pod kątem określenia właściwości mechanicznych i cech geometrycznych źdźbła w różnych fazach dojrzałości prowadzili Szot i Kolemba [11]. W badaniach tych przy pomocy elektrodynamometru określono siłę powodującą ugięcia źdźbła, jego sprężystość i kąt nachylenia. Pomiarów wykonano w warunkach polowych. Laboratoryjnie dokonywano określenia granicy sprężystości poszczególnych międzywęzli oraz wartości siły powodującej złamanie źdźbła. Pomiarów przeprowadzono na elektronicznej mikrozywarce. Mierzono również średnicę zewnętrzną, wewnętrzną i grubość ścianki źdźbła. Stwierdzono, że używana aparatura jest przydatna dla określenia właściwości mechanicznych zbóż. Rezultaty pomiarów świadczą o zmienności mechanicznych właściwości źdźbła w różnych fazach dojrzałości. Najmniejszą wytrzymałość mają pierwsze międzywęzła (licząc od kłosa), zaś największą - ostatnie. Na uwagę zasługuje fakt, że w badanych trzech odmianach pszenicy ozimej (Grana, Luna, Kaukaz), najmniejsza wytrzymałość międzywęzli występuje w fazie dojrzałości woskowej, a największa w pełnej, natomiast źdźbło żyta jest najbardziej odporne przy dojrzałości woskowej.

Badaniem wpływu parametrów geometrycznych na wytrzymałość źdźbła pszenicy ozimej odmiany Grana poświęcona była praca Szota [12]. Wykonano w niej pomiary przekroju poprzecznego źdźbła (średnica zewnętrzna, wewnętrzna i grubość ścianki łodygi). Pomiarów przeprowadzono przy pomocy specjalnie do tego celu skonstruowanego przyrządu. W skład tego przyrządu wchodził czujnik zegarowy, co umożliwiało pomiar przekroju źdźbła z dokładnością do 0,01 mm. Siłę zrywającą dla poszczególnych międzywęzli mierzono na elektronicznej mikrozywarce z dokładnością do 0,15 N. Wyniki badań wskazują na znaczną zależność między geometrią źdźbła a jego wytrzymałością.

Wpływ parametrów geometrycznych źdźbła zboża na wyleganie badali Ruebenbauer i Riegerowa [9]. Wykazali oni, że takie parametry jak długość i grubość źdźbła powiązane są bezpośrednio z wyleganiem. Kierując się tymi zależnościami wyliczyli współczynnik sztywności źdźbła (s)

gdzie: X' - długość dokłosa,

X'' - długość drugiego międzywęzła od góry,

X_1 - długość pierwszego międzywęzła od dołu,

$$s = \left(\frac{X'}{X_1} + \frac{X''}{X_2} \right) \cdot \frac{g}{d} \quad (6)$$

X_2 - długość drugiego międzywęzła od dołu,
 g - grubość źdźbła (średnica),
 d - długość całego źdźbła.

Analizując otrzymane wyniki pomiarów według współczynnika (s), autorzy [9] doszli do wniosku, że istotną cechą, którą należy ująć, jest powierzchnia przekroju poprzecznego źdźbła. Uwzględniając to wyprowadzili oni wzór na drugi współczynnik sztywności źdźbła zboża (s')

$$s' = \left(\frac{X'}{X_1} + \frac{X''}{X_2} \right) \cdot \frac{g^2}{d} \quad (7)$$

Obserwacje stopnia wylegania wykazały, że drugi współczynnik sztywności (s') jest czulszym kryterium niż pierwszy współczynnik (s). Stwierdzono jednocześnie, że wraz ze wzrostem tych współczynników zwiększa się odporność na wyleganie.

Z prac teoretycznych dotyczących mechaniki i wytrzymałości źdźbła zbóż należy wyróżnić prace Miczyńskiego [6] i Kaczorowskiego [5]. Miczyński przedstawił metodę "sprężystych parametrów" stosowaną dotychczas do obliczeń wytrzymałościowych cienkich prętów. Stosując powyższą metodę autor przeprowadził wytrzymałościowe obliczenie statycznie obciążonego modelu źdźbła zboża. Jako model posłużyła ustawiona pionowo, prostoosiowa (przed obciążeniem) rurka, o stałym przekroju poprzecznym i stałej wartości sztywności zginania. Dolny koniec rurki był utwierdzony, natomiast górny swobodny. Wyznaczono linie ugięcia i przebieg naprężeń gnących wzdłuż osi modelu źdźbła zboża obciążonego ciężarem kłosa, ciężarem własnym i parciem wiatru (przy założeniu, że moduł sprężystości podłużnej jest stały wzdłuż źdźbła). Stopień dokładności rozwiązania powiększał się w tej metodzie wraz z ilością odcinków na jakie dzielono źdźbło.

Kaczorowski [5] w swej pracy również rozpatruje źdźbło jako konstrukcję mechaniczną. Autor zwraca uwagę, że u roślin w okresie rozwoju występują zmiany rzutujące na ich wytrzymałość. Należy więc przy analizie konstrukcji źdźbła ograniczyć się do krótkich okresów czasu, w ciągu których następujące w roślinie zmiany nie wpływają w sposób istotny na wytrzymałość źdźbła. Źdźbło rozpatrywane jest jako pręt pionowy jednostronnie umocowany o drugim końcu swobodnym. Pręt może być obciążony siłą pionową i poziomą, co powoduje jego ugięcie. Po zniknięciu tych sił pręt wraca ponownie do pozycji pionowej. Wartość pionowego obciążenia granicznego określona jest w literaturze nazwą siły

krytycznej F_{kr} . Według Timoshenki [13] wzór na siłę krytyczną przy uwzględnieniu ciężaru łodygi i innych obciążeń pionowych sprowadzić można do następującej postaci:

$$F_{kr} = \frac{m \cdot E \cdot J}{l^2} \quad (8)$$

gdzie: m - współczynnik zależny od rozłożenia obciążeń na długość źdźbła,

J - moment bezwładności przekroju poprzecznego,

l - długość źdźbła,

E - moduł sprężystości źdźbła.

Odporność na wyleganie określona jest przy pomocy wskaźnika W_o .

$$W_o = \frac{F_{kr}}{F} = \frac{m \cdot E \cdot J}{F \cdot l^2} \quad (9)$$

gdzie: F - numeryczna wartość obciążenia pionowego.

Według autora tej pracy [5] wyleganie zbóż jest funkcją zespołu cech anatomicznych i morfologicznych. W związku z tym żadna cecha morfologiczna lub anatomiczna rozpatrywana oddzielnie nie może stanowić kryterium dla oceny właściwości mechanicznych źdźbła. Sugeruje się również w tej pracy przeprowadzenie badań zależności między modułem sprężystości E a składem chemicznym i strukturą źdźbła.

Podsumowanie

Z analizy przedstawionych w niniejszym artykule prac nasuwa się stwierdzenie, że wyleganie zbóż zależne jest przede wszystkim od właściwości sprężystych źdźbeł tych roślin oraz od ich parametrów geometrycznych. Ponieważ właściwości sprężyste źdźbła zboża charakteryzuje najlepiej wartość modułu sprężystości podłużnej, zwana inaczej modułem Younga, większość dotychczasowych badań ograniczała się do określenia tej wartości.

Wyznaczone przez Mohsenina [7], Ahlgrimma [1] i Huisemana [4] wartości modułów Younga źdźbeł roślin zbożowych metodami pomiaru odkształceń rozciąganych lub zginanych próbek wyciętych z źdźbeł tych roślin, uznać należy jako mało adekwatnie opisujące stan rzeczywisty. Spowodowane to jest znacznym uśrednieniem otrzymywanych pomiarów, jak i niedokładnie znanym zakresem mierzonych odkształceń sprężystych badanych odcinków źdźbła. Niewystarczająco

dokładne były tu również pomiary samych odkształceń.

Próby wyznaczenia wartości modułu sprężystości źdźbeł roślin zbożowych z zastosowaniem ultradźwięków przeprowadzone przez Gawdę [2] nie spełniają w pełni warunków otrzymania wyników charakteryzujących się wystarczającą dokładnością. Związane to jest z niezbyt doskonałą metodyką pomiarową, w której można uzyskiwać tylko uśrednione wartości z całej długości badanego odcinka źdźbła. Duże błędy wprowadzać mogą w tej metodzie badań znaczne niedokładności w wyznaczaniu gęstości poszczególnych odcinków źdźbeł. Wpływ na małą dokładność tej metody może również mieć np. nierównomierny rozkład gęstości wzdłuż długości źdźbła, który może być znaczny nawet na małym badanym odcinku tego źdźbła. Dotyczy to zwłaszcza źdźbeł zbóż przed okresem dojrzałości pełnej.

Analiza przedstawionych wyżej dotychczasowych metod badań właściwości mechanicznych ziarna i źdźbła pszenicy dowodzi, że przy pomiarach tymi metodami występują stosunkowo duże odkształcenia badanych materiałów roślinnych. Powoduje to na ogół przekroczenie zakresu odkształceń sprężystych, a co za tym idzie, niespełnienie podstawowego warunku wymaganego przy tego rodzaju badaniach. Warunkiem tym jest przeprowadzenie pomiarów w zakresie odkształceń sprężystych. W dotychczasowych metodach badań właściwości mechanicznych roślin nie był ściśle dotrzymywany ten warunek. Dlatego też wyniki tych badań obarczone były dużymi błędami. Świadczyć mogą o tym duże rozbieżności wyników badań właściwości mechanicznych ziarna i źdźbła roślin zbożowych wyznaczonych różnymi metodami.

Literatura

1. Ahlgrimm H.J.: The strenght properties of grass-stalks subjected to tensile, shearing and bending process. Zeszyty Problemowe PNR, z.203, 1978.
2. Gawda H.: Próby zastosowania metody ultradźwiękowej do wyznaczania modułu Younga zbóż. Zeszyty Problemowe PNR, z.203, 1978.
3. Gowin J., Haman J., Koper R.: Próby wyznaczania modułu sprężystości podłużnej źdźbła pszenicy metodą interferometrii holograficznej. RNR, t.73-C-3, 1978.
4. Huisman W.: Moisture content, coefficient of friction and modulus of elasticity of straw in relation to walker losses. Maszynopis pracy. Agricultural University Wageningen 1977.
5. Kaczorowski T.: Zjawisko wylegania zbóż z punktu widzenia mechaniki źdźbła. IUNG, Puławy 1970.
6. Miczyński J.: Obliczenie wytrzymałościowe statycznie obciążonego źdźbła pszenicy. Zeszyty Problemowe PNR, z.203, 1978.

7. Mohsenin N.N.:Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers, vol.1, New York 1970.
8. Muller Z.:Mechanical investigation of fibrous plants. Zeszyty Problemowe PNR, z.203, 1978.
9. Ruebenbauer T.,Riegerowa H.:Próba określenia sztywności słomy pszenic ozimych na podstawie pomiarów nielicznych roślin. Acta Agrobotanica, vol. 44/4, 1967.
10. Skubisz G.:The determination of Young's modulus of a blade of winter wheat on the blasis of field and laboratory measurements. Zeszyty Problemowe PNR, z.203,1978.
11. Szot B.,Kolemba G.:Metody oceny wylegania zbóż. Problemy Agrofizyki PAN, z.8, 1973.
12. Szot B.:Rozwój badań właściwości fizycznych materiałów rolniczych. Problemy Agrofizyki PAN, z.5, 1972.
13. Timoshenko S.P.,Goodier J.N.:Teoria sprężystości. Warszawa "Arkady" 1962.

Methods of determining mechanical properties of cereal stalks

Roman Koper

Summary

Methods for experimental and theoretical studying mechanical properties of selected cereal stalks wee discussed in the paper. methods for experimental determining modulus of elasticity in particular stalk sections were the main point of interest. Methods based on bending and tension tests as well as the method of ultrasonic wave propagation in examined stalk sections were described.