

## PHYSICOMECHANICAL TESTING OF TRITICALE STALKS PROPERTIES FOR SIMULATION RESEARCH OF CUTTING PROCESS BY MEANS OF SCISSORS-FINGERS CUTTING TOOLS

Summary

In the paper were presented research results of triticale Young's modulus and stalks cross-section moment of inertia. Investigations were made on fatigue-testing machine called INSTRON 8501. Research results gave input data for simulation research and proved that Young's modulus is not constant value but depends on triticale stalks diameter.

## BADANIE CECH FIZYKOMECHANICZNYCH ŻDźBEŁ PSZENŻYTA DLA POTRZEB SYMULACJI KOMPUTEROWEJ PROCESU CIĘCIA NOŻYCOWO-PALCOWYM ZESPOŁEM TNĄCYM

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań modułu Younga oraz momentu bezwładności przekroju żdźbeł pszenżyta. Badania te przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8501 w celu identyfikacji danych wejściowych do obliczeń na modelu matematycznym. Uzyskane wyniki badań jednoznacznie wskazują, że moduł Younga nie jest wartością stałą, lecz zależy od średnicy zewnętrznej żdźbeł pszenżyta.

### 1. Wprowadzenie

Znajomość cech fizykomechanicznych roślin jest podstawą do matematycznej optymalizacji zespołów roboczych będących na wyposażeniu maszyn służących do cięcia materiału roślinnego. Proces technologiczny cięcia materiału roślinnego należy do jednego z najważniejszych w ramach zbioru zbóż. Jednym z podstawowych zespołów roboczych w maszynach typu kombajny zbożowe, siewkarnie czy też kosiarki jest nożycowo-palcowy zespół tnący.

Istniejące rozwiązania konstrukcyjne nożycowo-palcowych zespołów tnących charakteryzują się dużą energochłonnością podczas procesu cięcia, a co się z tym wiąże ich układy napędowe wyposażone są w silniki o stosunkowo dużej mocy. Wskazuje to na fakt, że istniejące rozwiązania konstrukcyjne powstały w dużej mierze na podstawie intuicji konstruktorskiej oraz w oparciu o zasadę „prób i błędów”.

W obecnej dobie komputeryzacji proces projektowania zespołów tnących może ograniczać się do czysto informatycznych zabiegów. Dzięki temu uzyskuje się możliwość szybkiego przystosowania konstrukcji do specyfiki wymagań użytkownika poprzez analizę wielu wariantów rozwiązań konstrukcyjnych na drodze symulacji komputerowej.

Podstawowym warunkiem uzyskania zgodnych wyników z obliczeń symulacyjnych jest posiadanie adekwatnego modelu matematycznego.

Z literatury znane są różne modele matematyczne procesu cięcia nożycowo-palcowym zespołem tnącym oraz opisy prowadzonych na nich obliczeń symulacyjnych. Wszystkie znane opracowania realizowane były dla wyidealizowanej rośliny czy też łądygi. W dotychczasowych opracowaniach żdźbło traktowano jako element belkowy o przekroju kołowym i jednakowych właściwościach fizykomechanicznych na całej długości

(przyjmowano stałą jego sztywność  $EJ$ ;  $E$  - moduł Younga,  $J$  - moment bezwładności przekroju żdźbła), co nie odpowiada rzeczywistości, gdyż żdźbło posiada skomplikowaną budowę geometryczną i zróżnicowane właściwości fizykomechaniczne. Żdźbło roślin zbożowych składa się z elementów rurowych o różnych wymiarach geometrycznych połączonych węzłami. Węzły, zwane kolankami, mają różną w stosunku do międzywęźli budowę. Charakteryzują się dużą twardością i sztywnością. Całe żdźbło zakończone jest kłosem, w którym skupiona jest największa masa w stosunku do pozostałej części żdźbła. Roślina jest utwierdzona w podłożu za pomocą systemu korzeniowego.

Aby zbudować dobry jakościowo model matematyczny uwzględniający rzeczywistą budowę żdźbła i prowadzić na nim wiarygodne obliczenia symulacyjne potrzebne są zgodne dane wejściowe.

Zatem jako cel pracy przyjęto, doświadczalną identyfikację modułu Younga oraz momentu bezwładności przekroju żdźbła pszenżyta na potrzeby prowadzenia obliczeń symulacyjnych procesu cięcia żdźbeł nożycowo-palcowym zespołem tnącym.

### 2. Plan i program badań

W celu wyznaczenia modułu Younga dla pojedynczego żdźbła zaplanowano eksperyment [2].

Jako zmienne niezależne w eksperymencie przyjęto cechy geometryczne przekroju żdźbła: średnicę zewnętrzną  $d_z$ , średnicę wewnętrzną  $d_w$  oraz ugięcie żdźbła  $y$ .

Natomiast jako zmienną zależną, niezbędną do wyznaczenia modułu Younga, przyjęto siłę zginającą żdźbło  $P$ .

Dla większości materiałów moduł Younga jest wartością stałą i nie zależy od ich cech geometrycznych. W przypadku żdźbeł zbóż zauważono, że moduł Younga nie jest wartością stałą [1]. Zależy on od średnicy żdźbeł.

Celem badań jest wyznaczenie wartości modułu Younga  $E$  dla pszenżyta w celu ustalenia zależności:

$$E = f(d_z), \quad (1)$$

gdzie:

$d_z$  – średnica zewnętrzna źdźbła.

Badania realizowano dla serii 30 źdźbeł o różnych średnicach zewnętrznych. Reprezentatywną serię źdźbeł wylosowano z całej populacji posiadanego materiału do badań.

Wilgotność względna źdźbeł pszenżyta w czasie badań doświadczalnych była stała i wynosiła 12%. Stała wilgotność była zapewniona poprzez ciągłe przechowywanie próbek w szafie klimatyzacyjnej.

Badania zasadnicze poprzedzono pomiarem średnic zewnętrznych i wewnętrznych. Pomiary przeprowadzono na mikroskopie warsztatowym. Mierzono średnicę w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach w taki sposób, że odcinano małe odcinki źdźbeł, o długości 10 mm, z dwóch końców, przygotowanej do badań próbki. Za średnicę zewnętrzną i wewnętrzną uznawano średnią arytmetyczną z czterech pomiarów.

### 3. Stanowisko badawcze

Badanie modułu Younga wymagało zastosowania urządzeń pozwalających mierzyć i rejestrować z dużą dokładnością wartość siły w funkcji przemieszczenia. Dodatkowym wymaganiem była odpowiednio mała prędkość realizacji procesu. Wymagania te spełnia maszyna wytrzymałościowa INSTRON 8501 będąca na wyposażeniu Laboratorium Akredytowanego Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy.

Maszyna wytrzymałościowa składa się z elementu roboczego i elementu rejestrującego. Ogólny widok stanowiska przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Ogólny widok stanowiska badawczego  
Fig. 1. General view of test stand

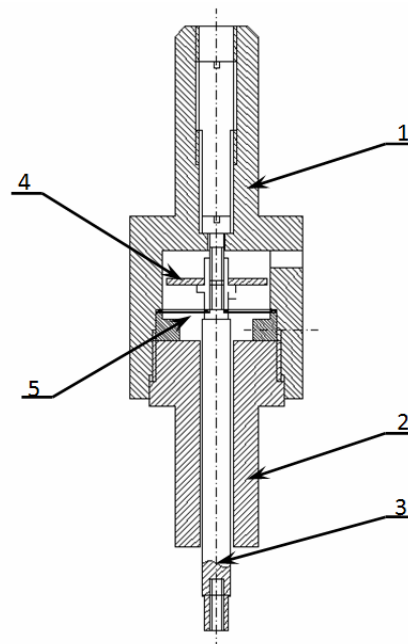
Maszyna wytrzymałościowa umożliwia rejestrację przebiegu zmian siły oddziaływania głowicy na badany obiekt w funkcji przemieszczenia. Istnieje możliwość zmian zakresu obciążenia, prędkości przebiegu procesu, szybkości rejestracji i zakresu rejestracji danych.

W normalnym trybie pracy INSTRON 8501 pozwala na realizację zadania w zakresie obciążeń statycznych do 120 kN i dynamicznych do 100 kN.

W doświadczeniu zaplanowano rejestrację sił w zakresie do 25 N, na co nie pozwalało standardowe wyposażenie maszyny wytrzymałościowej.

Dlatego w celu realizacji badań doświadczalnych, wykonano we własnym zakresie, rejestrator siły specjalnej konstrukcji.

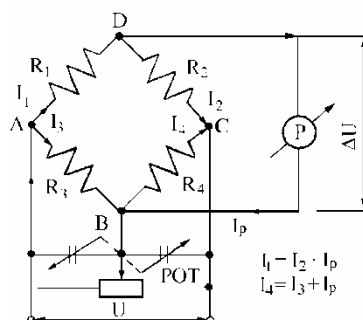
Schemat konstrukcyjny rejestratora siły przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat rejestratora siły: 1 - górna część korpusu, 2 - dolna część korpusu, 3 - trzpień, 4 - złącze technologiczne do mocowania przewodów sygnałowych, 5 - membrana z tensometrami

Fig. 2. Scheme of force sensor: 1 - top part of casing, 2 - bottom part of casing, 3 - mandrel, 4 - cables connector for holding signal conductors, 5 - membrane with dial extensometers

Charakterystycznym elementem rejestratora (czujnika) siły jest cienka membrana (5), na której zostały naklejone tensometry w sposób przedstawiony na rys. 3.

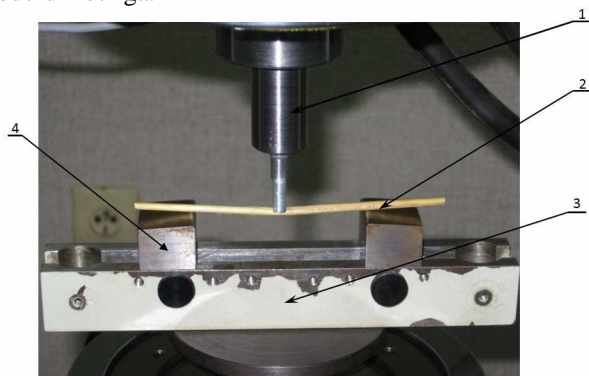


Rys. 3. Schemat rozmieszczenia tensometrów  
Fig. 3. Scheme of dial extensometers positions

Środek membrany został połączony z ruchomym trzpień. Natomiast zewnętrzne obrzeże membrany osadzono w korpusie czujnika mocowanym w uchwycie maszyny wytrzymałościowej. Trzpień (3) wywierając nacisk na membranę powodował jej odkształcenie, co

rejestrowano dzięki tensometrom sprzężonym z komputerem za pomocą przewodów sygnałowych. Komputer wyposażono w program, który pozwalał na bezpośredni odczyt siły, która oddziaływała na trzpień czujnika.

Na rys. 4. przedstawiono widok przyrządu do badania modułu Younga.



Rys.4. Widok przyrządu do badania modułu Younga: 1 - czujnik siły, 2 - wycinek międzywęzła źdźbła, 3 - belka podporowa, 4 - podpora

Fig. 4. View of attachment for testing Young's modulus: 1 - force sensor, 2 - part of corn stalk, 3 - body of the attachment, 4 - support

Czujnik siły zamontowano w górnym uchwycie maszyny wytrzymałościowej. Dolny uchwyt maszyny wyposażono w belkę podporową (3) z dwiema podporami (4) zamontowanymi w odległości 80 mm, na których układano źdźbło rośliny (2).

#### 4. Metodyka badań

Do badań modułu Younga wykorzystano opisany w punkcie 3 przyrząd specjalnej konstrukcji zamontowany na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8501.

Tab. 1. Wyniki pomiarów modułu Younga źdźbła pszenżyta  
Table 1. Investigation results of corn stalk Young's modulus

Nr pomiaru	Średnica źdźbła		Siła zginająca źdźbło P [N]	Ugięcie źdźbła y [mm]	Moment bezwładności J [mm <sup>4</sup> ]	Moduł Younga E [N · mm <sup>-2</sup> ]
	zewnątrzna d <sub>z</sub> [mm]	wewnętrzna d <sub>w</sub> [mm]				
1	3,26	2,75	1,900	1,239	2,736	5978,3
2	3,94	3,16	3,567	1,239	6,934	4428,2
3	2,97	2,17	2,058	1,239	2,730	6486,4
4	3,64	2,79	3,637	1,269	5,642	5416,9
5	3,02	2,34	2,034	1,269	2,611	6545,7
6	3,31	2,54	2,725	1,212	3,848	6230,0
7	4,35	3,41	5,419	1,239	10,93	4265,3
8	3,67	3,02	2,879	1,182	4,821	5389,1
9	3,37	2,46	3,188	1,239	4,533	6053,1
10	3,86	3,02	4,351	1,241	6,813	5488,0
11	3,61	2,87	3,232	1,239	5,006	5557,5
12	2,63	1,80	1,467	1,211	1,833	7048,1
13	3,03	1,93	2,654	1,239	3,456	6609,4
14	3,70	2,91	3,280	1,239	5,679	4972,3
15	2,14	1,36	8,400	1,241	0,861	8380,1
16	3,71	3,02	3,052	1,193	5,216	5231,8
17	3,42	2,54	2,972	1,109	4,672	6118,7
18	2,73	1,81	1,693	1,249	2,199	6574,0
19	3,46	2,65	2,896	1,218	4,614	5495,9
20	3,81	2,77	4,133	1,257	7,453	4705,2
21	3,57	2,43	4,251	1,261	6,261	5742,5
22	3,03	1,93	2,430	1,239	3,456	6053,0
23	2,53	1,43	1,481	1,226	1,805	7136,5
24	4,03	3,13	4,282	1,253	8,236	4425,9
25	3,85	2,73	4,599	1,266	8,057	4808,3
26	3,07	2,15	2,396	1,242	3,311	6214,5

Na podporach belki układano wcześniej przygotowany element międzywęzła źdźbła pszenżyta. Na element źdźbła w miejscu centralnym, pomiędzy dwiema podporami, oddziaływano trzpieniem przetwornika siły z prędkością 0,5 mm · s<sup>-1</sup>.

Aby zapobiec wyslizgiwaniu się materiału do badań, końcówkę trzpienia wykonano w kształcie widełek obejmujących źdźbło.

Badania przeprowadzono w następujący sposób. Maszyna wytrzymałościowa została zaprogramowana tak aby podczas wykonywania badania był zachowany stały posuw górnego uchwytu z zamontowanym przetwornikiem siły. Doświadczenie realizowano z prędkością 0,5 mm · s<sup>-1</sup>. Dzięki temu trzpień przetwornika oddziaływał na źdźbło, co powodowało jego zginanie.

Opór stawiany przez źdźbło został zarejestrowany przez komputer jako przyrost siły w funkcji ugięcia źdźbła.

Materiał do badań został przygotowany w ten sposób, że między podporami belki dolnej przyrządu nie występował węzeł, czyli kolanko. Dało to możliwość badania elementu zwanego międzywęzłem. W ten sposób wyznaczano moduł Younga elementu o stałych, jednakowych właściwościach fizyko mechanicznych.

Moduł Younga obliczano z zależności:

$$E = \frac{P l^3}{48 y J} \quad (2)$$

gdzie:

P - siła zginająca źdźbło,

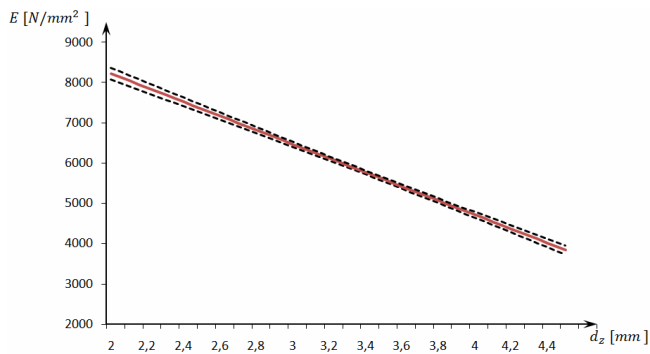
l - odległość między podporami,

y - wartość ugięcia badanego materiału,

J - moment bezwładności przekroju międzywęzła źdźbła.

Do celów obliczeniowych modułu Younga należało również wyznaczyć moment bezwładności J przekroju źdźbła.

27	4,41	3,38	5,818	1,245	12,15	4099,6
28	3,90	2,82	4,354	1,244	8,251	4524,2
29	3,23	2,31	2,732	1,265	3,945	5838,7
30	3,99	3,04	4,975	1,255	8,248	5125,9



Rys. 5. Wykres przedziałów ufności dla funkcji regresji  
Fig. 5. Graph of confidence intervals for regression function

## 5. Analiza wyników badań

Wyniki pomiarów średnic zewnętrznych  $d_z$  i wewnętrznych  $d_w$  źdźbeł, sił zginających źdźbła  $P$  i ich ugięcia  $y$  oraz wyniki obliczeń wartości momentu bezwładności przekroju międzywęzła źdźbła  $J$  oraz modułu Younga  $E$  zestawiono w tab. 1.

Przeprowadzone badania wykazały, że moduł Younga  $E$  dla źdźbła rośliny zbożowej (pszenżyta) nie jest wielkością stałą i zależy od cech geometrycznych jej przekroju.

Z analizy wyników badań zamieszczonych w tabeli 1 wynika, że wraz ze wzrostem średnicy zewnętrznej  $d_z$  źdźbła wartość modułu Younga  $E$  w przybliżeniu maleje liniowo.

Szczegółową zależność  $E = f(d_z)$  wyznaczono na podstawie analizy regresji.

Przeprowadzona analiza regresji wielokrotnej wykazała, że zależność statystyczną pomiędzy zmiennymi z równania (1) zadowalająco opisuje na poziomie istotności  $\alpha_{pi} = 0,05$  (współczynnik korelacji  $R = 0,90$ ) równanie funkcji regresji o postaci:

$$E = 11720 - 1750 d_z \quad (3)$$

Na rys. 5 przedstawiono przedziały ufności dla funkcji regresji dla pola przekroju poprzecznego źdźbła  $F_{cj} = 5,5 \text{ mm}^2$ .

## 6. Podsumowanie

Moduł Younga jest jednym z podstawowych parametrów modelu masowo-sprężystego źdźbła. Dla większości materiałów jest on wartością stałą (np. stale) i nie zależy od ich cech geometrycznych. Z przeprowadzonych badań wynika, że moduł Younga dla pszenżyta nie przyjmuje wartości stałej. Zależy on natomiast, przede wszystkim od średnicy źdźbła.

Wraz ze wzrostem średnicy zewnętrznej źdźbła wartość jego w przybliżeniu liniowo maleje.

## 7. Literatura

- [1] Mrozek M.: Badanie cech fizykomechanicznych źdźbeł zbóż dla potrzeb modelowania za pomocą metody elementów skończonych. Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, vol. 40 nr 1, Poznań 1995.
- [2] Zastempowski M: Badania energochłonności cięcia nożycowo-palcowym zespołem tnącym. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Rozprawa doktorska, Bydgoszcz 2008.

Praca została zrealizowana w ramach grantu – projektu badawczego NN502462134.