

Marcin ZASTEMPOWSKI¹

IDENTYFIKACJA MODUŁU YOUNGA ŻDŹBEŁ PSZENŻYTA NA UŻYTEK PROJEKTOWANIA NOŻYCOWO-PALCOWYCH ZESPOŁÓW TNĄCYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań modułu Younga żdźbeł pszenżyta. W celu identyfikacji danych wejściowych do obliczeń na modelu matematycznym przeprowadzono badania na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8501. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że moduł Younga żdźbeł pszenżyta nie jest wartością stałą, lecz zależy od ich średnicy zewnętrznej.

Słowa kluczowe: moduł Younga żdźbła, maszyna wytrzymałościowa, model matematyczny procesu cięcia

1. WPROWADZENIE

Znajomość cech fizykomechanicznych roślin jest podstawą do matematycznej optymalizacji zespołów roboczych 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, siewczarnie 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 [1, 4] znane są różne modele matematyczne procesu cięcia nożycowo-palcowym zespołem tnącym oraz opisy prowadzonych dla nich

¹ Dr inż. Marcin ZASTEMPOWSKI, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Eksploatacji Maszyn i Transportu, Zakład Techniki Rolniczej, ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz, e-mail: zastemp@utp.edu.pl, tel. +48-52-340-82-49

obliczeń symulacyjnych. Wszystkie znane opracowania realizowane były dla wyidealizowanej rośliny czy też łodygi. W dotychczasowych opracowaniach źdźbło traktowano jako element belkowy o przekroju kołowym i jednakowych właściwościach fizykomechanicznych na całej długości (przyjmowano stałą jego sztywność EI ; E – moduł Younga, I – moment bezwładności przekroju źdźbła), co nie odpowiada rzeczywistości, gdyż źdźbło posiada skomplikowaną budowę geometryczną i zróżnicowane właściwości fizykomechaniczne. Źdźbło 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 źdźbło zakończone jest kłosem, w którym skupiona jest największa masa w stosunku do pozostałej części źdźbła. Roślina jest utwierdzona w podłożu za pomocą systemu korzeniowego.

Zbudowanie dobrego jakościowo modelu matematycznego uwzględniającego rzeczywistą budowę źdźbła i prowadzenie opierając się na nim wiarygodnych obliczeń symulacyjnych wymaga zgodnych z warunkami rzeczywistymi danych wejściowych. Jako cel pracy przyjęto więc doświadczalną identyfikację modułu Younga źdźbła pszenżyta, jako danych wejściowych, na potrzeby prowadzenia obliczeń symulacyjnych na modelu matematycznym procesu cięcia realizowanego nożycowo-palcowym zespołem tnącym.

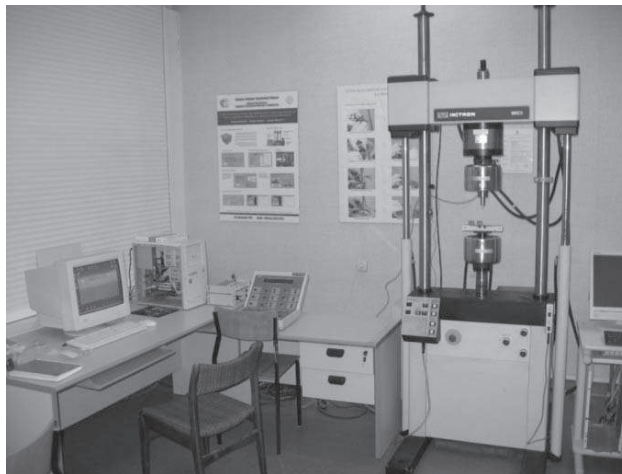
2. STANOWISKO BADAWCZE

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 rysunku 1. 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.

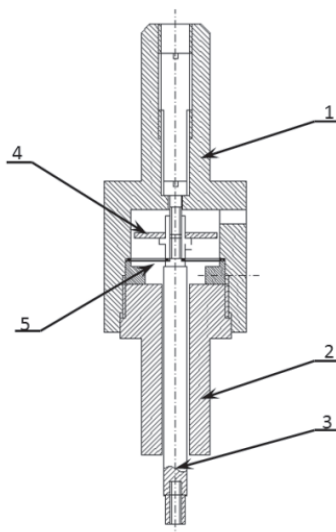
W standardowym trybie pracy INSTRON 8501 pozwala na realizację zadania w zakresie obciążeń statycznych do 120 kN i dynamicznych do 100 kN.

Po przeprowadzeniu badań wstępnych we właściwym doświadczeniu zaplanowano rejestrację sił w zakresie do 25 N, na co nie pozwalało istniejące wyposażenie maszyny wytrzymałościowej. Istniała więc potrzeba wykonania we własnym zakresie specjalnej konstrukcji czujnika siły.



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

Schemat konstrukcyjny czujnika siły przedstawiono na rysunku 2.



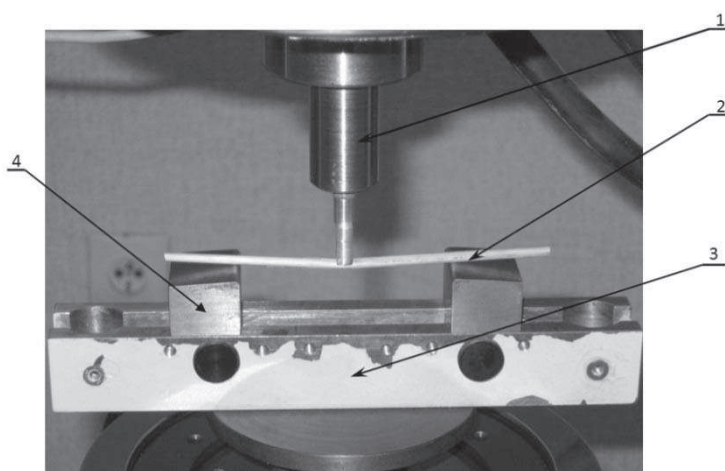
Rys. 2. Schemat czujnika siły: 1-górna część korpusu, 2-dolna część korpusu, 3-trzpień, 4-złącze technologiczne do mocowania przewodów sygnałowych, 5- membrana z tensometrami

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

Charakterystycznym elementem czujnika siły jest cienka membrana (5), na której zostały naklejone tensometry. Środek membrany został połączony z ruchomym trzpieniem. 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.

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



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

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

3. PLAN I METODYKA BADAŃ

W celu wyznaczenia modułu Younga dla pojedynczego źdźbła zaplanowano eksperyment [3]. Jako zmienne niezależne w eksperymencie przyjęto cechy geometryczne przekroju źdźbła: średnicę zewnętrzną d_z , średnicę wewnętrzną d_w oraz ugięcie źdźbła y .

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

Dla większości materiałów moduł Younga jest wartością stałą i nie zależy od ich cech geometrycznych. W przypadku źdźbeł zbóż zauważono, że moduł Younga nie jest wartością stałą [2]. Zależy on od średnicy źdźbeł. Dlatego prowadząc badania poszukiwano zależności:

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

gdzie:

E – moduł Younga,
 d_z – średnica zewnętrzna źdźbła.

Badania realizowano dla serii 30 źdźbeł pszenżyta 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.

Badania zasadnicze prowadzono na maszynie wytrzymałościowej w taki sposób, że na podporach belki układano wcześniej przygotowany element międzywęzła źdźbła pszenżyta. Na element źdźbła w miejscu centralnym, pomiędzy dwiema podporami (rys. 3), oddziaływano trzpieniem przetwornika siły ze stałą prędkością $0,5 \text{ mm s}^{-1}$.

W celu zapobieżenia wyslizgiwania się materiału do badań z uchwytu, końcówkę trzpienia wykonano w kształcie widełek obejmujących źdźbło. Dzięki temu trzpień przetwornika oddziaływał na źdźbło, co powodowało jego zginanie, a opór stawiany przez źdźbło został zarejestrowany przez komputer, jako przyrost siły w funkcji ugięcia źdźbła.

Materiał do badań został przygotowany w taki 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 fizykomechanicznych.

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.

4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

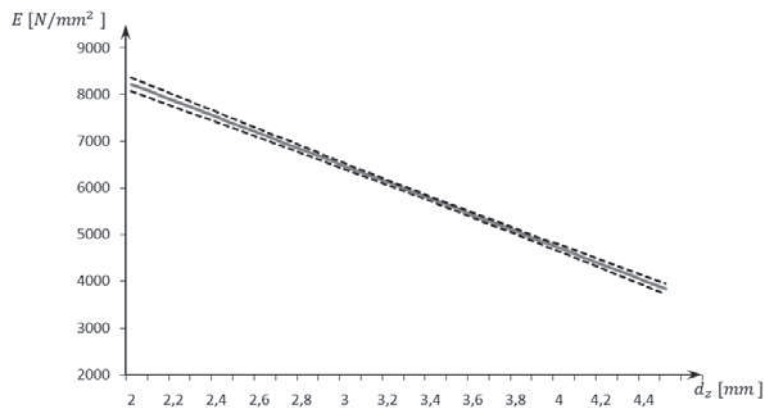
Wyniki pomiarów średnic zewnętrznych d_z i wewnętrznych d_w źdźbeł, sił zginających źdźbła P i ich ugięcia y oraz wyniki obliczeń wartości momentu bezwładności przekroju międzywęźla źdźbła J oraz modułu Younga E zestawiono w tabeli 1. Uzyskane wyniki wykazały, że moduł Younga E dla źdźbła rośliny zbożowej (pszenżyta) nie jest wielkością stałą i zależy od cech geometrycznych jego przekroju.

Z analizy wyników badań zamieszczonych w tabeli 1 wynika, że w badanym przedziale zmienności 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 między zmiennymi z równania (1) zadowalająco opisuje na poziomie istotności α_{pi} (współczynnik korelacji $R = 0,9$) równanie funkcji regresji o postaci:

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

Na rysunku 4. przedstawiono przedziały ufności dla funkcji regresji dla pola przekroju poprzecznego źdźbła $F_{cj} = 5,5 \text{ mm}^2$.



Rys. 4. Moduł Younga E w funkcji średnicy d_z źdźbła z naniesionymi przedziałami ufności
 Fig. 4. Young modulus E as the function of outer diameter d_z of straw with confidence interval

Identyfikacja modułu Younga źdźbeł pszenżyta na użytek projektowania ...

Tabela 1. Wyniki pomiarów modułu Younga źdźbeł pszenżyta

Table 1. Investigation results of corn straw Young's modulus

Nr pomiaru	Średnica źdźbła		Siła zginająca źdźbło P [N]	Ugięcie źdźbła y [mm]	Moment bezwładności J [mm ⁴]	Moduł Younga E [$\frac{N}{mm^2}$]
	zewnątrzna d_z [mm]	wewnętrzna d_w [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
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

Obliczenia własne autora

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.

LITERATURA

- [1] KANAFOJSKI CZ., KARWOWSKI T.: Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. TOM II. PWRiL 1980.
- [2] 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.
- [3] ZASTEMPOWSKI M.: Badania energochłonności cięcia nożycowo-palcowym zespołem tnącym. Rozprawa doktorska. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz. 2008
- [4] ŻUK D.: Proces cięcia źdźbeł zbóż. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Mechanika z. 95, Warszawa 1986.

IDENTIFICATION OF TRITICALE STRAW YOUNG'S MODULUS FOR DESIGNING OF SCISSOR-FINGER CUTTING UNIT

Summary: In the paper there was presented research result of triticales Young's modulus. Investigation was made on fatigue-testing machine called INSTRON 8501. Research result was gave input data for simulations research and proved that Young's modulus it's not constant value but depends on corns diameter value.

Key words: triticales Young's modulus, fatigue-testing machine mathematical model of cutting process