

IDENTIFICATION OF QUASI-STATICAL TRITICALE CORN STALK CUTTING FORCE IN ORDER TO DESIGN THE SCISSORS-FINGERS CUTTING TOOLS

Summary

In the paper was presented research results of corn stalk quasi-statical cutting force. Investigations were made on fatigue-testing machine called INSTRON 8501. Research results proved that level of cutting force almost linearly decreases along with cutting angle increase. The cutting angle (angle between knife and corn symmetry axis) was changed in range from 0 to 15°. In that case should be done research which would give answer if decrease of cutting force is also connected with cutting angle when using scissors-fingers cutting tool (cutting many stalks of corn at the same time). Range of cutting angle changing in research is possible to achieve during normal work of scissors-fingers cutting tool.

IDENTYFIKACJA QUASI-STATYCZNEJ SIŁY CIĘCIA ŻDŹBEŁ PSZENŻYTA NA UŻYTEK PROJEKTOWANIA NOŻYCOWO-PALCOWYCH ZESPOŁÓW TNĄCYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych quasi-statycznej siły cięcia źdźbeł pszenżyta. Przeprowadzone badania na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8501 wykazały jednoznacznie, że wraz ze wzrostem kąta cięcia względem osi symetrii źdźbeł w zakresie od 0 do 15°, wartość siły cięcia w przybliżeniu liniowo maleje. Wobec tego celowe jest sprawdzenie w sposób doświadczalny, czy wymienione zjawisko ma miejsce przy cięciu źdźbeł za pomocą nożycowo-palcowego zespołu tnącego (jednoczesne cięcie kilkudziesięciu, czy też kilkuset źdźbeł). Przyjęty zakres zmian kąta cięcia źdźbeł jest możliwy do realizacji podczas pracy nożycowo-palcowego zespołu tnącego w warunkach polowych.

1. Wprowadzenie

Podstawowymi zespołami roboczymi występującymi w wielu maszynach rolniczych są zespoły tnące typu nożycowo-palcowego. Występują one powszechnie w kosiarkach, sieczkarniach oraz kombajnach zbożowych. Cięcie materiału roślinnego przez nożycowo-palcowy zespół tnący jest szczególnym przypadkiem mechanicznego dzielenia materiału roślinnego pod działaniem sił zewnętrznych przekraczających opór spójności międzycząsteczkowej materiału.

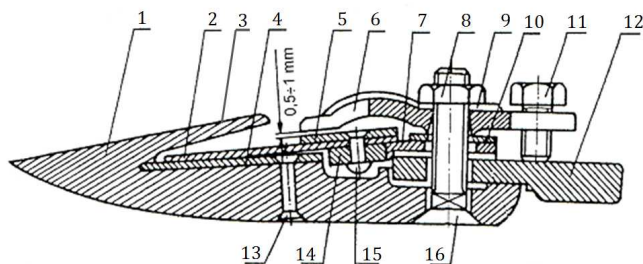
Istota konstrukcji nożycowo-palcowego zespołu tnącego polega na tym, że zespół składa się z ruchomej listwy nożowej i nieruchomej belki palcowej. Przynitowane do listwy nożowej nożyki mają kształt trapezu. Ostrza nożyków są gładkie lub posiadają nacięcia.

Przymocowane do belki palcowej palce służą do rozdzielania ścinanego materiału na porcje. Palce mają wycięcia, które umożliwiają ruch posuwisto-zwrotny nożyków oraz zwiężają się ku przodowi – w celu łatwiejszego rozdzielania materiału. W niektórych konstrukcjach do palców przynitowane są stalki, które tworzą krawędzie przeciwnące. W innych zaś konstrukcjach rolę taką spełniają boczne krawędzie palców. Właściwe przyleganie nożyków do stalek zapewniają przyciski przykręcone do belki palcowej. Ponadto listwa nożowa opiera się o prowadnicę [1].

Na rys. 1 przedstawiono przykładowy przekrój nożycowo-palcowego zespołu tnącego.

Zasada działania nożycowo-palcowego zespołu tnącego polega na tym, że palce wchodzą między ścinane rośliny i rozdzielają je na porcje. Następnie poszczególne nożyki przyginają źdźbła, czy też łodygi roślin do bocznych

krawędzi palców (krawędzi przeciwnących) i powodują ścinanie roślin.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny nożycowo-palcowego zespołu tnącego [1]: 1 – palec, 2 – nożyk, 3 – górne ramię palca, 4 – krawędź przeciwnąca, 5 – nakładka nożyka, 6 – przycisk listwy nożowej, 7 – prowadnica, 8 – nakrętka, 9, 10 – podkładki, 11 – śruba regulacyjna, 12 – belka palcowa, 13, 15 – nity mocujące, 14 – listwa nożowa, 16 – śruba

Fig. 1. Cross-section of scissors-fingers cutting tool [1]: 1 – finger, 2 – knife, 3 – top part of the finger, 4 – blunt edge, 5 – plate of the knife, 6 – clamp of the knife slat, 7 – guide of the knife slat, 8 – screw nut, 9, 10 – washers, 11 – adjusting screw, 12 – finger bar, 13, 15 – fastening rivets, 14 – knife slat, 16 – screw

Racjonalne i szybkie projektowanie energooszczędnych nożycowo-palcowych zespołów tnących o dużej wydajności i trwałości uwarunkowane jest analitycznym opisem procesu cięcia, zachodzącego w tych zespołach oraz badaniami doświadczalnymi procesu cięcia materiału pochodzenia roślinnego [1, 2, 3].

Asumptem do prowadzenia dodatkowych badań procesu cięcia materiału pochodzenia roślinnego są wyniki badań Ł.P. Kramarenki [2]. Ł.P. Kramarenko rozpatrywał różne

rodzaje cięcia w aspekcie pracy oraz oporu cięcia. Wykazał, że przy ukośnym cięciu źdźbeł i łodyg (pod kątem 45° do ich osi symetrii), siła cięcia a co za tym idzie praca cięcia jest mniejsza w stosunku do cięcia na kierunku prostopadłym.

Wobec powyższego wydaje się zasadnym zbadanie, czy taka zależność zachodzi również dla kątów cięcia źdźbła, np.: 5° , 10° i 15° . Przyjęty zakres zmian kąta cięcia źdźbła wynika z faktu, że jest on możliwy do realizacji podczas pracy nożycowo-palcowego zespołu tnącego w warunkach połowych.

Zatem jako cel pracy przyjęto, doświadczać wyznaczenie siły cięcia źdźbeł pszenżyta pod różnym kątem w stosunku do ich osi symetrii w quasi-statycznej próbie cięcia oraz wskazanie możliwości wykorzystania wyników z tych badań na etapie projektowania nożycowo-palcowych zespołów tnących.

2. Plan i program badań

W celu wyznaczenia siły cięcia w quasi-statycznej próbie cięcia źdźbła zaplanowano eksperyment. Jako zmienne niezależne w eksperymencie przyjęto:

- kąt cięcia źdźbła α ,
- cechy geometryczne przekroju źdźbła: średnicę zewnętrzną d_z oraz średnicę wewnętrzną d_w .

Natomiast jako zmienną zależną przyjęto siłę cięcia źdźbła P_{cj} .

Celem badań było doświadczać wyznaczenie siły cięcia P_{cj} w quasi-statycznej próbie cięcia źdźbła, w celu ustalenia zależności:

$$P_{cj} = f(F_{cj}, \alpha), \quad (1)$$

gdzie:

F_{cj} - pole przekroju źdźbła w miejscu cięcia,

α - kąt cięcia źdźbła.

Kąt cięcia źdźbła zmieniano w zakresie od 0 do 15° , co 5° ($0, 5, 10, 15^\circ$). Przyjęty w badaniach zakres zmian kąta cięcia źdźbła α wcześniej uzasadniono.

Badania prowadzono dla serii 30 losowo wybranych źdźbeł pszenżyta o wilgotności 12%.

Stała wilgotność była zapewniona poprzez ciągłe przechowywanie próbek w szafie klimatyzacyjnej. Całkowita liczba pomiarów wynosiła 120. Przygotowane próbki elementów źdźbeł miały 120 mm długości każda.

Szczególną uwagę zwrócono na reprezentatywny dobór źdźbeł do badań. Całą populację źdźbeł przeznaczonych do badań podzielono na pięć oddzielnych grup. Z każdej grupy losowano po 6 sztuk źdźbeł, co w efekcie dało 30 próbek do badań. Taki przebieg procesu losowego wyboru źdźbeł dawał większe prawdopodobieństwo reprezentatywności materiału do badań.

Po wylosowaniu źdźbeł przeprowadzono następujące pomiary: masy źdźbła, masy kłosa, długości poszczególnych odcinków źdźbła, długości kłosa, średnicy zewnętrznej i wewnętrznej drugiego i trzeciego odcinka źdźbła. Średnicę drugiego i trzeciego odcinka źdźbła mierzono w połowie długości, w dwóch kierunkach prostopadłych, wyznaczając średnią z pomiarów. Średnicę pierwszego odcinka mierzono po przeprowadzeniu prób cięcia. Na każdym źdźble przeprowadzono czterokrotne badanie cięcia pod różnymi kątami.

W wyniku procesu cięcia uzyskano cztery odcinki źdźbła o długości 10 mm. Odcinki te przecinano w połowie w celu dokonania pomiaru średnic. Średnice mierzono w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach. Średnica zewnętrzna d_z i wewnętrzna d_w została wyznaczona jako średnia z ośmiu pomiarów.

Materiał do badań został przygotowany w ten sposób, że próbę quasi-statycznego rozdzielania źdźbła przeprowadzono na odcinku źdźbła odpowiadającym wysokości cięcia równej 70 mm. Wysokość ta odpowiada wysokości cięcia realizowanego za pomocą nożycowo-palcowego zespołu tnącego.

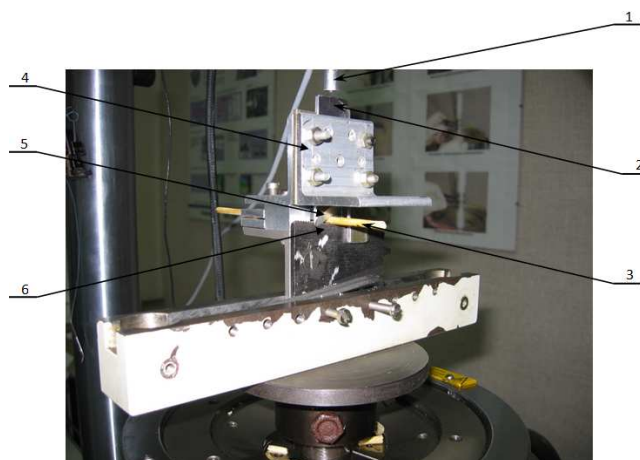
3. Stanowisko badawcze

Badania doświadczać siły cięcia w quasi-statycznej próbie cięcia źdźbeł pszenżyta przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8501, będącej na wyposażeniu Laboratorium Akredytowanego w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. W doświadczeniu wykorzystano własnej konstrukcji czujnik siły cięcia, który zamocowano w górnym uchwycie maszyny wytrzymałościowej. W dolnym uchwycie zamontowano korpus przyrządu specjalnej konstrukcji do cięcia. Przyrząd ten został tak skonstruowany, aby odzwierciedlał pojedynczy element nożycowo-palcowego zespołu tnącego, tj. nożyk i krawędź przeciwną. Dlatego też, w przyrządzie zachowano wielkości geometryczne takie jak w typowym nożycowo-palcowym zespole tnącym. Z tego powodu nożyk i krawędź przeciwną wykonano z oryginalnych elementów składowych nożycowo-palcowego zespołu tnącego.

Na rys. 2 przedstawiono widok przyrządu do badania siły cięcia w quasi-statycznej próbie cięcia źdźbła.

Nożyk w przyrządzie został powiązany z górnym uchwytem mocującym maszyny wytrzymałościowej, tj. przetwornikiem siły, natomiast krawędź przeciwną zamontowano nieruchomo w korpusie przyrządu, w dolnym uchwycie maszyny wytrzymałościowej.

Dodatkowo przyrząd umożliwiał zamontowanie źdźbła w taki sposób, aby kąt cięcia źdźbła, tj. kąt pomiędzy płaszczyzną cięcia, a osią źdźbła, mógł być zmieniany od 0 do 15° .



Rys. 2. Widok przyrządu do badania siły cięcia w quasi-statycznej próbie cięcia źdźbła: 1 – trzpień przetwornika siły, 2 – nożyk tnący, 3 – materiał do cięcia, 4 – korpus przyrządu, 5 – krawędź tnąca nożyka, 6 – krawędź przeciwną

Fig. 2. View of attachment for testing cutting force in quasi-static trial of stalk corn cutting: 1 – mandrel of the force transducer, 2 – knife, 3 – material for cutting, 4 – body of the attachment, 5 – cutting edge, 6 – blunt edge

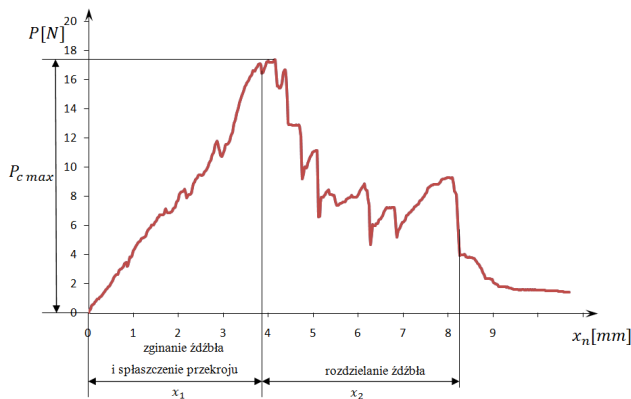
4. Metodyka badań

Badania quasi-statycznej siły cięcia realizowano w ten sposób, że maszyna wytrzymałościowa została odpowiednio zaprogramowana tak, aby podczas wykonywania pomiarów zachowany był stały posuw górnego uchwytu z zamontowanym przetwornikiem siły. Trzpień czujnika siły oddziaływał na górną część nożyka przesuwaną się z prędkością 2 mm/s.

Żdźbła mocowano w specjalnych dwóch (górną i dolną) płytkach z wykonanym rowkiem odpowiednio pod kątem 0, 5, 10 i 15°. W tak przygotowane płytki mocowano żdźbło i realizowano cięcie pod wymienionymi kątami.

Dokładność pomiaru kąta, podczas przygotowania płytek, wynosiła $d\alpha = 0,5^\circ$. Siłę cięcia rejestrowano w komputerze. Dokładność pomiaru siły wynosiła $dP = 0,01$ N.

Przykładowy przebieg zmian siły cięcia w funkcji przemieszczenia nożyka w żdźbło przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Fazy przebiegu procesu cięcia
Fig. 3. Phases of cutting process trial

Próba quasi-statycznego cięcia wyraźnie wskazuje dwa przedziały przebiegu procesu. Na odcinku x_1 wystąpił efekt ugięcia żdźbła i spłaszczenia jego przekroju poprzecznego, który trwa do momentu osiągnięcia siły P_{cmax} . Następnie na odcinku x_2 występuje zjawisko rozdzielania żdźbła. Średnią siłę rozdzielania żdźbła opisuje zależność:

$$P_{cj} = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} P dx. \quad (2)$$

Siłę cięcia P_{cj} wyznaczono na podstawie wyników z dyskretnych pomiarów zależności:

$$P_{cj} = \sum_{i=1}^n \frac{P}{n}, \quad (3)$$

gdzie:

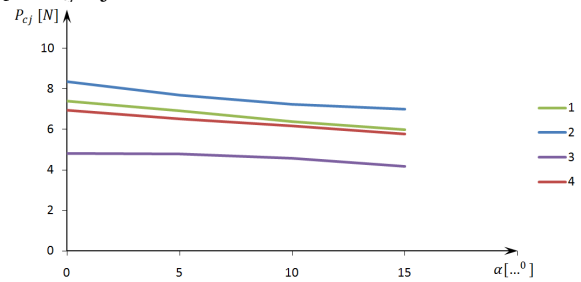
n – liczba punktów pomiarowych w przedziale (x_1, x_1+x_2) .

5. Analiza wyników badań

Przeprowadzone badania doświadczalne wykazały, że dla wszystkich badanych przypadków cięcia pojedynczego żdźbła wraz ze wzrostem kąta cięcia żdźbła α , siła cięcia P_{cj} maleje w przybliżeniu liniowo.

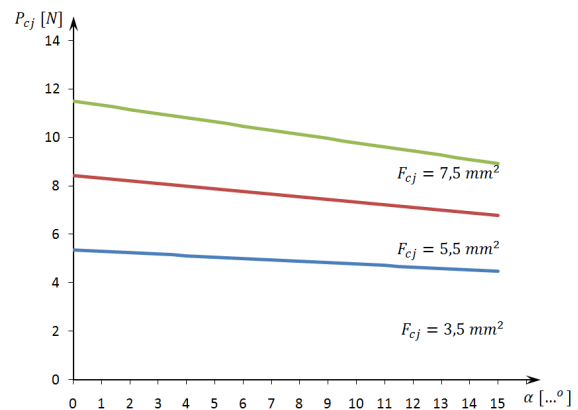
Na rys. 4 przedstawiono przykładowe wyniki badań siły cięcia w quasi-statycznej próbie cięcia żdźbeł pszenicy.

Natomiast na rys. 5 przedstawiono zależność siły cięcia żdźbła P_{cj} od kąta cięcia α dla trzech różnych przekrojów cięcia F_{cj} , tj.: 3,5; 5,5; 7,5 mm².



Rys. 4. Wykresy siły cięcia dla różnych kątów cięcia żdźbeł o średnicach: 1 – $d_z = 3,92$ mm, $d_w = 2,99$ mm, 2 – $d_z = 4,35$ mm, $d_w = 3,43$ mm, 3 – $d_z = 3,08$ mm, $d_w = 2,31$ mm, 4 – $d_z = 4,01$ mm, $d_w = 3,25$ mm

Fig. 4. Graphs of the cutting force for different cutting angles of corn stalks of diameters: 1 – $d_z = 3,92$ mm, $d_w = 2,99$ mm, 2 – $d_z = 4,35$ mm, $d_w = 3,43$ mm, 3 – $d_z = 3,08$ mm, $d_w = 2,31$ mm, 4 – $d_z = 4,01$ mm, $d_w = 3,25$ mm



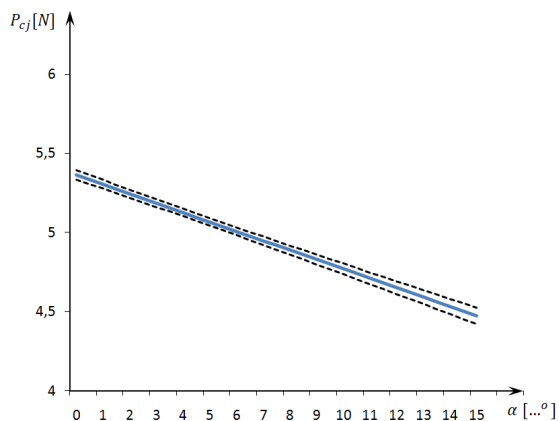
Rys. 5. Wykresy siły cięcia żdźbła dla różnych kątów cięcia i dla różnych pól przekrojów żdźbła

Fig. 5. Graphs of the cutting force for different cutting angles and different stalk corn cross-section area

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

$$P_{cj} = F_{cj} (1,5320 + 0,0118 \alpha + 0,0015 \alpha F_{cj}). \quad (4)$$

Na rys. 6 przedstawiono przykładowe przedziały ufności dla funkcji regresji dla $F_{cj} = 3,5$ mm².



Rys. 6. Wykres przedziałów ufności funkcji regresji dla pola przekroju źdźbła $F_{cj} = 3,5 \text{ mm}^2$

Fig. 6. Graph of confidence interval for regression function for stalk corn cross-section area $F_{cj} = 3,5 \text{ mm}^2$

6. Podsumowanie

Przeprowadzone badania doświadczalne wykazały, że dla wszystkich przypadków cięcia pojedynczego źdźbła pszenżyta wraz ze wzrostem kąta cięcia źdźbła w stosunku

Praca została zrealizowana w ramach grantu – projektu badawczego NN502462134.

do jego osi symetrii (w zakresie od 0 do 15°) siła cięcia w quasi-statycznej próbie maleje w przybliżeniu liniowo.

Wobec tego należy wnioskować, że celowe jest sprawdzenie w sposób doświadczalny, czy wymienione zjawisko zachodzi przy cięciu źdźbeł za pomocą typowej konstrukcji nożycowo-palcowego zespołu tnącego czy też należy zmienić jego konstrukcję w celu zmniejszenia sumarycznej siły cięcia.

7. Literatura

- [1] Bochat A., Błaszczak M., Zastempowski M.: Problematyka badawcza procesu cięcia pojedynczych źdźbeł i łodyg. Inżynieria i Aparatura Chemiczna nr 1/2007.
- [2] Chattopahyay P.S., Pandey K.P.: Mechanical properties of sorghum in relation to quasi static deformation. Journal of Agricultural Engineering Research, Vol.73, 1999.
- [3] Zastempowski M.: Badania energochłonności cięcia nożycowo-palcowym zespołem tnącym. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Rozprawa doktorska, Bydgoszcz, 2008.