

Marcin ZASTEMPOWSKI, Andrzej BOCHAT, Kamil KORPAL

e-mail: marcin.zastempowski@utp.edu.pl

Instytut Eksploatacji Maszyn i Transportu, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Analiza możliwości badań stanowiskowych procesu cięcia materiału roślinnego

Wstęp

Zespoły tnące stanowią podstawowe układy robocze grupy maszyn rolniczych, przeznaczonych do zbioru materiału roślinnego przeznaczonego na cele konsumpcyjne, paszowe czy też energetyczne. Wśród tych maszyn wyróżnić można: kosiarki, sieczkarnie oraz kombajny zbożowe.

Specyfika ich budowy i zasada działania wynikają między innymi z faktu, że realizowany przez nie proces cięcia dotyczy materiałów roślinnych, których struktura jest niejednorodna, a właściwości fizykomechaniczne nie są do końca zidentyfikowane.

Jedną z bardzo ważnych dróg prowadzących do obniżenia kosztów produkcji żywności jest zdecydowane zmniejszenie nakładów potrzebnych na pozyskanie materiału do jej produkcji. Można to osiągnąć projektując maszyny, które będą charakteryzowały się małą energochłonnością procesów roboczych. W przypadku maszyn do zbioru materiałów takich jak zboża, czy też zielonki dotyczy to m.in. procesu cięcia.

Różnorodność konstrukcji i istoty funkcjonowania zespołów tnących stosowanych w maszynach rolniczych wymaga projektowania ich nowych odmian, optymalizacji już znanych konstrukcji i prowadzenia badań doświadczalnych. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie zbudowanych i wykorzystywanych w *Zakładzie Maszyn Roboczych Wydziału Inżynierii Mechanicznej (WIM) na Uniwersytecie Technologiczno-Przyrodniczym w Bydgoszczy (UTP)* stanowisk przeznaczonych do badań procesu cięcia materiału roślinnego.

Nożycowy zespół tnący

Podstawowym zespołem roboczym występującym w wielu maszynach rolniczych, jest nożycowy zespół tnący. W procesie ścinania źdźbeł, czy też łodyg bezpośrednio uczestniczą elementy tnące lub elementy tnące z krawędziami przeciwnymi, których kształt, ustawienie, rodzaj wykonywanego ruchu, sposób działania na roślinę, warunkują odmienną konstrukcyjnych zespołów tnących.

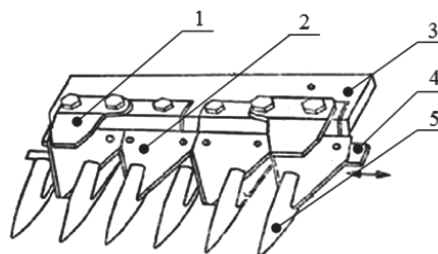
Ważnym zagadnieniem dotyczącym konstrukcji nożycowo-palcowych zespołów tnących jest sposób realizacji napędu listwy nożowej. Można tutaj wyróżnić nożycowe zespoły tnące typu obiegowego i nożycowe zespoły tnące o ruchu posuwisto-zwrotnym listwy nożowej. Badania z zakresu porównania obu tych zespołów tnących prowadzili Kośmicki i Antonowicz [1988].

Zespół tnący typu obiegowego jak wykazały te badania pracuje z mniejszą energochłonnością oraz ze znacznie mniejszymi obciążeniami dynamicznymi jednak ma szereg wad. Podczas ścinania roślin źdźbłowych, zespół ten pracuje prawidłowo jedynie w zakresie prędkości nożyków powyżej 5 m/s. Przy mniejszych prędkościach nożyków tnących następuje pogorszenie pracy zespołu, które charakteryzuje się utrudnionym wpływem ściętych źdźbeł nad zespołu tnącego oraz zapychaniem zespołu tnącego spowodowanym wciąganiem wiotkich źdźbeł pomiędzy nożyk, a krawędź przeciwną. Z uwagi na skomplikowaną budowę obiegowego zespołu tnącego oraz z uwagi na przedstawione wyżej wady obiegowy zespół tnący nie znalazł szerokiego zastosowania w maszynach rolniczych.

Nożycowo-palcowy zespół tnący o ruchu posuwisto-zwrotnym zespołu roboczego jest stosowany w popularnych maszynach rolniczych typu sieczkarnie czy kombajny zbożowe (Rys. 1). Istota konstrukcji tego zespołu tnącego polega na tym, że zespół składa się z ruchomej listwy nożowej i nieruchomej belki palcowej.

Nożyki przynitowane do listwy nożowej mają kształt trapezu, a ich ostrza są gładkie lub posiadają nacięcia.

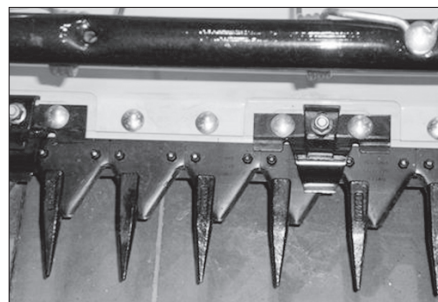
Palce przymocowane do belki palcowej służą do rozdzielania ścinanego materiału na porcje. Palce mają wycięcia, które umożliwiają ruch



Rys.1. Schemat nożycowo-palcowego zespołu tnącego [Kanafojski i Karwowski, 1980]: 1 – przycisk listwy nożowej, 2 – nożyk, 3 – belka palcowa, 4 – listwa nożowa, 5 – palec

posuwisto-zwrotny nożyków oraz zwięzają 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 przykręcane do belki palcowej. Ponadto listwa nożowa opiera się o prowadnicę.

Zasada działania nożycowo-palcowego zespołu tnącego polega na tym, że palce wchodzą między ścinane rośliny i rozdzielają je na porcje. Następnie poszczególne nożyki przygniatają źdźbła, czy też łodygi roślin do bocznych krawędzi palców i powodują ścinanie roślin. Na rys. 2 przedstawiono wybrany nożycowo-palcowy zespół tnący.



Rys. 2. Nożycowo-palcowy zespół tnący firmy New Holland

Pomimo dużego rozpowszechnienia maszyn rolniczych wyposażonych w nożycowo-palcowe zespoły tnące ich konstrukcja nie zmieniła się znacząco przez długi okres czasu. Badania doświadczalne przeprowadzone w *Zakładzie Maszyn Roboczych WIM UTP* jednoznacznie wskazują, że istotny udział w energochłonności procesu cięcia mają opory ruchu jałowego, a wzrost zapotrzebowania na energię w ruchu roboczym, podczas cięcia materiału roślinnego wynosi zaledwie ok. 10% [Zastempowski, 2010].

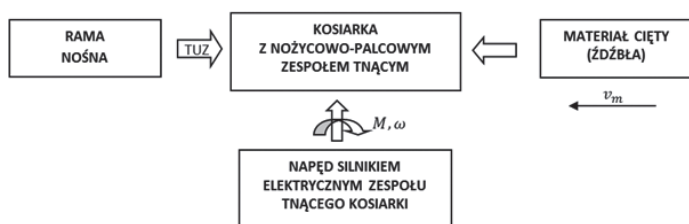
Biorąc to pod uwagę opracowano nową konstrukcję nożycowo-palcowego zespołu tnącego charakteryzującą się zmniejszonymi oporami ruchu zespołu tnącego [Zastempowski i Bochat, 2012].

Stanowisko badawcze procesu cięcia nożycowo-palcowym zespołem tnącym

Do realizacji badań procesu cięcia za pomocą nożycowo-palcowego zespołu tnącego w *Zakładzie Maszyn Roboczych WIM UTP* zbudowano stanowisko badawcze, którego schemat przedstawiono na rys. 3.

Stanowisko badawcze przedstawione na rys. 4 składa się z następujących elementów:

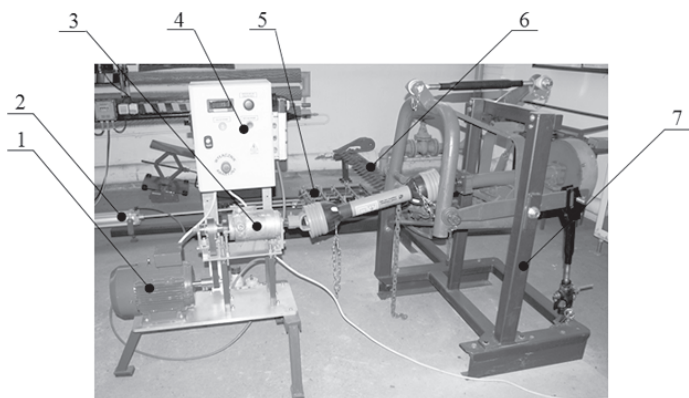
- kosiarka ZO34 wyposażona w nożycowo-palcowy zespół tnący zamocowana na regulowanej ramie nośnej,
- podajnik materiału do cięcia, wyposażony w pneumatyczny układ napędowy,
- układ elektryczny służący do napędu i sterowania prędkością zespołu tnącego,



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego [Bochat, 2010]

- aparatura do pomiaru momentu obrotowego i prędkości obrotowej,
- aparatura do pomiaru prędkości podawanego materiału.

Zespół tnący w stanowisku badawczym napędzany silnikiem elektrycznym poprzez przekładnię pasową z pasem zębatym. Silnik elektryczny zasilany jest z jednostki sterującej, która umożliwia zmianę prędkości ruchu listwy nożowej zespołu tnącego w zakresie do 3 m/s. Dodatkowo na wale napędowym zespołu roboczego kosiarki umieszczono momentomierz umożliwiający odczyt aktualnego momentu obrotowego w zakresie do 200 Nm oraz prędkości w czasie realizacji procesu cięcia. Rzeczywisty ruch maszyny w warunkach polowych został zastąpiony ruchem materiału do cięcia. Ruch ten realizowany jest poprzez układ pneumatyczny zapewniający stałą wartość prędkości oraz jej płynną regulację w zakresie do 5 m/s. Stanowisko zapewnia również możliwość zmiany wysokości cięcia żdzbla, a także regulację kąta cięcia.



Rys. 4. Stanowisko do badań procesu cięcia nożycowo-palcowym zespołem tnącym: 1 – silnik elektryczny, 2 – siłownik pneumatyczny, 3 – momentomierz, 4 – układ sterująco-regulacyjny, 5 – podajnik materiału do cięcia, 6 – listwa nożowa kosiarki, 7 – rama nośna z TUZ

Projektując stanowisko badawcze do badania nakładów energetycznych w procesie cięcia nożycowo-palcowym zespołem tnącym zapewniono pełne odzwierciedlenie rzeczywistych warunków panujących podczas realizacji procesu cięcia w warunkach polowych, a dodatkowo zapewniono możliwość prowadzenia badań z dowolną konstrukcją kosiarki, która przystosowana jest do współpracy z ciągnikiem rolniczym.

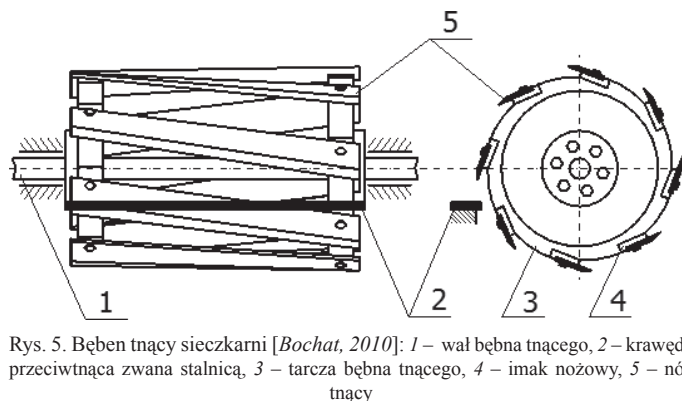
Planowane jest przedstawienie wyników badań w następnych pracach autorów.

Bębnowy zespół tnący

Bębnowy zespół tnący stanowi podstawowy zespół roboczy siewczkarni samobieżnych, przyczepianych oraz stacjonarnych. Zadaniem bębnowego zespołu tnącego jest cięcie materiału roślinnego (łodyg lub żdzbla) na części (siewczkę) o określonej długości. Zastosowanie tego zespołu w siewczkarniach umożliwia uzyskanie wymaganego stopnia rozdrobnienia materiału. Przykładową konstrukcją bębnowego zespołu tnącego przedstawiono na rys. 5.

Bębny tnący mogą mieć konstrukcję otwartą lub zamkniętą.

Bęben tnący o konstrukcji otwartej składa się z wału, na którym osadzone są tarcze z otworami. Do tarcz przytwierdzone są imaki nożowe. W imakach mocowane są natomiast noże tnące. Noże w zależności od konstrukcji bębna mogą być proste lub wygięte wzdłuż linii śrubowej.



Rys. 5. Bęben tnący siewczkarni [Bochat, 2010]: 1 – wał bębna tnącego, 2 – krawędź przeciwna zwana stalnicą, 3 – tarcza bębna tnącego, 4 – imak nożowy, 5 – nóż tnący

Ponadto, wyróżnia się noże jednolite lub dzielone. Bęben tnący jest ułożony w płytach bocznych siewczkarni.

Bęben tnący o konstrukcji zamkniętej zamiast kilku tarcz na wale ma zamocowaną konstrukcję w postaci zamkniętego walca, na którego pobocznicach rozmieszczone są wsporniki z przymocowanymi do nich nożami tnącymi. Na rys. 6 przedstawiono bęben tnący siewczkarni firmy New Holland.



Rys. 6. Bęben tnący siewczkarni firmy New Holland

Ruch obrotowy bębna tnącego powoduje przemieszczanie się wraz z nim noży tnących. Poruszające się względem nieruchomej stalnicy noże, powodują w pierwszym etapie zgniot – sprasowanie warstwy materiału roślinnego a w drugim etapie jej przecięcie.

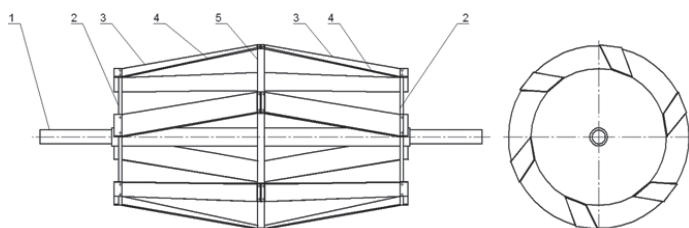
Dostarczanie materiału między ostrze noża i przeciwstrze odbywa się dzięki ruchowi obrotowemu walców podająco-zgniatających, które dokonują wstępnego uformowania i zagęszczenia materiału.

Zasada działania bębnowego zespołu tnącego polega na tym, że ruch bębna tnącego powoduje przemieszczanie się wraz nim noży tnących. Poruszające się noże względem nieruchomej listwy przeciwną powodują cięcie warstwy materiału roślinnego. Dostarczanie materiału pomiędzy ostrze noża i przeciwstrze odbywa się dzięki ruchowi obrotowemu walców podająco-zgniatających, które dokonują wstępnego uformowania i zagęszczenia materiału roślinnego. Pomimo dużego rozpowszechnienia siewczkarni rolniczych wyposażonych w bębnowe zespoły tnące konstrukcje ich zespołów tnących nie ulegały zasadniczym zmianom w ostatnim czasie.

Moc pobierana przez zespół tnący, jak wynika z bilansu mocy Sankey'a zużytej przez siewczkarnię z bębnowym zespołem tnącym, wyraźnie dominuje nad mocami zużywanymi przez pozostałe zespoły robocze i wynosi 75÷80% [Bochat i Korpal, 2013]. Górny i dolny walec zgniatający pobierają natomiast 15÷18% mocy.

Poszukując bardziej efektywnych energetycznie rozwiązań konstrukcyjnych bębnowego zespołu tnącego realizującego cięcie materiału roślinnego na siewczkę opracowano, opatentowano i wykonano nową konstrukcję zespołu tnącego.

Istota konstrukcji zaproponowanego bębna tnącego polega na tym, że składa się on z wału napędzającego i trzech tarcz, w których środkowa ma większą średnicę w stosunku do bocznych. Do tarcz przykręcone są bezpośrednio noże w układzie V o ostrzach prostych lub wygiętych wzdłuż linii śrubowej [Bochat, 2004].

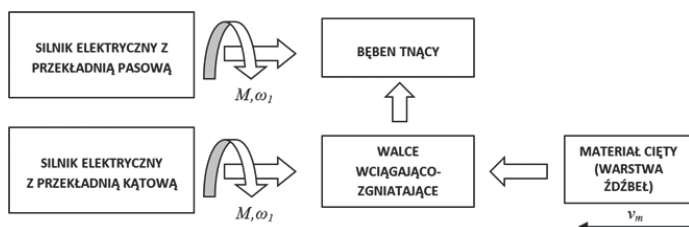


Rys. 7. Nowa konstrukcja bębna tnącego: 1 – wał, 2 – tarcze zewnętrzne, 3 – noże, 4 – krawędzie tnące noży, 5 – tarcza środkowa [Bochat, 2004]

Taka konstrukcja bębna umożliwi cięcie materiału w sposób ukośnie pochyły, czego efektem powinno być znaczne obniżenie energochłonności pracy zespołu tnącego.

Stanowisko badawcze procesu cięcia bębnowym zespołem tnącym

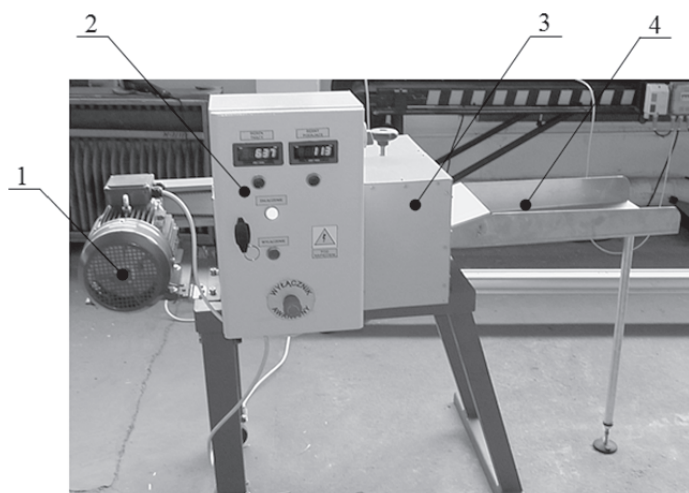
Do badań procesu cięcia za pomocą bębnowego zespołu tnącego zbudowano w *Zakładzie Maszyn Roboczych WIM UTP* drugie stanowisko badawcze. Stanowisko zapewnia ono możliwość realizacji cięcia poprzecznego jak i ukośnie pochyłego. Ogólną strukturę stanowiska przedstawiono na rys. 8.



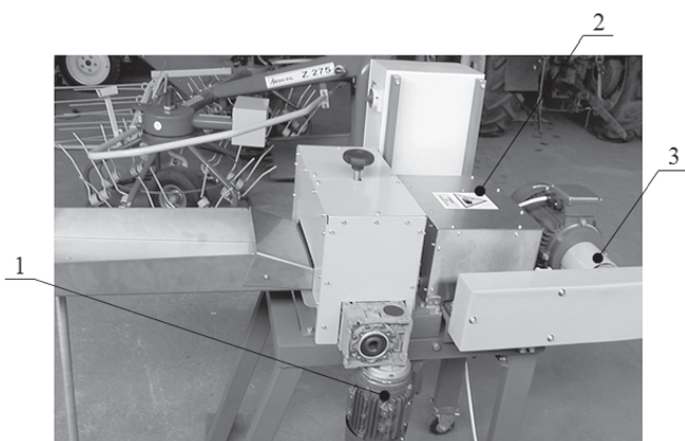
Rys. 8. Schemat stanowiska badawczego

- Stanowisko badawcze składa się z następujących elementów;
- sieczkarni bębnowej z bębniem walcowym oraz bębniem do cięcia ukośnie pochyłego,
 - układu elektrycznego służący do napędu i sterowania pracą bębna tnącego i walców podająco-zgniatających,
 - oprzyrządowania pomiarowego w skład którego wchodzi momentomierz wraz z miernikiem prędkości.

Widok ogólny stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 9 i 10. W stanowisku badawczym napęd zespołu bębna tnącego oraz zespołu walców podająco-zgniatających realizowany jest z dwóch niezależnych silników elektrycznych poprzez przekładnię pasową zębatym. W obu przypadkach istnieje możliwość niezależnej, bezstopniowej re-



Rys. 9. Stanowisko do badań procesu cięcia bębnowym zespołem tnącym – widok z przodu: 1 – silnik elektryczny z przekładnią pasową, 2 – układ zasilająco-sterujący, 3 – walce podająco-zgniatające, 4 – rynna zasypowa



Rys. 10. Stanowisko do badań procesu cięcia bębnowym zespołem tnącym – widok z tyłu: 1 – silnik z przekładnią kątową, 2 – bęben tnący, 3 – momentomierz

gulacji prędkości obrotowej. Dla bębna tnącego w zakresie do 638 obr/min, a dla walców podająco-zgniatających do 113 obr/min, co zapewnia podawanie materiału do cięcia w zakresie do 28 m/min.

Stanowisko badawcze zostało wyposażone w momentomierz o zakresie pomiarowym do 200 Nm, który umożliwia pomiar momentu obrotowego na wale napędzającym bęben tnący. Umożliwia to pomiar energochłonności realizowanego procesu cięcia materiału roślinnego na sieczkę. Projektując stanowisko zadbano również o możliwość zmiany ustawienia kąta pochylecia noży dla obu rozwiązań konstrukcyjnych bębna tnącego.

Struktura stanowiska badawczego do badania nakładów energetycznych odzwierciedla proces cięcia materiału roślinnego na sieczkę realizowany w rzeczywistych warunkach polowych, a dodatkowo możliwość regulacji i nastawy parametrów umożliwiają wszechstronne badania dla różnych materiałów roślinnych.

Szczegółowe wyniki badań zostaną zaprezentowane w następnych publikacjach naukowych autorów tej pracy.

Wnioski

Stosowane obecnie metody doświadczalne na etapie projektowania nowych odmian zespołów tnących są długotrwałe i pracochłonne ze względu na krótki okres eksploatacji maszyn wyposażonych w tego typu zespoły tnące w ciągu roku. Powoduje to niedogodność sprawdzania nowych nastaw, czy też opracowanych innowacyjnych konstrukcji dopiero po kilku miesiącach, a nawet po roku.

Posiadając stanowiska badawcze odzwierciedlające rzeczywiste warunki pracy maszyn w warunkach polowych można zapewnić ciągłość prowadzenia prac badawczych w ciągu roku. Dlatego w *Zakładzie Maszyn Roboczych* zbudowano opisane stanowiska oraz trwają prace nad opracowaniem i budową kolejnych.

LITERATURA

Antonowicz W., Kośmicki Z., 1988. *Badania obciążeń zespołu tnącego o jednostajnym prostoliniowym ruchu noża*. Wyd. PIMR, Poznań

Bochat A., 2004. *Bębnowy zespół tnący*. Patent PL 63603 Y1. Data zgłoszenia: 23.12.2004

Bochat A., 2010. *Teoria i konstrukcja zespołów tnących maszyn rolniczych*. Wyd. UTP, Bydgoszcz

Bochat A., Korpak K., 2013. *Problematyka badawcza cięcia warstwy materiału anizotropowego*. *Inż. Ap. Chem.*, 52, nr 2, 51-53

Kanafojski Cz., Karwowski T., 1980. *Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych*. TOM II. PWRiL, Warszawa

Zastempowski M., 2010. *Ocena efektywności funkcjonowania nożycowo-palcowego zespołu tnącego na wybranym przykładzie kosiarki*. *Inż. Ap. Chem.*, 49, nr 5, 144-145

Zastempowski M., Bochat A., 2012. *Wybrane aspekty projektowania energooszczędnej konstrukcji nożycowo-palcowego zespołu tnącego*. *J. Res. Appl. Agricul. Eng.*, 57, nr 4, 212-216