

## SELECTED ASPECTS OF THE DESIGNING AN ENERGY EFFICIENT CONSTRUCTIONS OF SCISSOR-FINGER CUTTING UNIT

### Summary

*The paper presents a new design of a scissor-finger cutting unit, which in relation to known structural solutions of cutting units is characterized by higher efficiency in functioning by reducing the energy intensity of the work. The presented design has been conceived in such a way that the majority of the components are the elements existing in a commercial offer for known design solutions of cutting units. The paper presents also the simulation calculations of operating parameters of a scissor-finger cutting units. Having a good tool to conduct numerical simulations of cutting units can significantly shorten the time of preparing new constructions of cutting units, as well as give the ability to quickly verify and optimize the potential of existing design solutions.*

**Key words:** mowers; cutting units; designing; energy efficiency; technical parameters; simulation research

## WYBRANE ASPEKTY PROJEKTOWANIA ENERGOOSZCZĘDNEJ KONSTRUKCJI NOŻYCOWO-PALCOWEGO ZESPOŁU TNĄCEGO

### Streszczenie

*W artykule przedstawiono nową konstrukcję nożycowo-palcowego zespołu tnącego. W odniesieniu do znanych rozwiązań konstrukcyjnych zespołów tnących charakteryzuje się ona wyższą efektywnością funkcjonowania poprzez obniżenie energochłonności pracy zespołu roboczego, a większość elementów składowych, to elementy handlowe występujące w ofercie dla znanych rozwiązań konstrukcyjnych zespołów tnących. W artykule przedstawiono również analizę symulacyjną parametrów roboczych nożycowo-palcowych zespołów tnących dla różnych ich konstrukcji. Posiadanie dobrego narzędzia do prowadzenia obliczeń symulacyjnych zespołów tnących może znacznie skrócić czas przygotowania nowych konstrukcji zespołów tnących, a także da możliwość szybkiego sprawdzenia i ewentualnej optymalizacji już istniejących rozwiązań konstrukcyjnych.*

**Słowa kluczowe:** kosiarki; zespoły tnące; projektowanie; oszczędność energii; parametry techniczne; badania symulacyjne

### 1. Wstęp

Podstawowymi zespołami roboczymi występującymi w wielu maszynach rolniczych są zespoły tnące, które służą do ścinania materiału roślinnego. Zespoły te znalazły głównie zastosowanie w maszynach typu kosiarki, sieczkarnie, czy też kombajny zbożowe.

Powszechnie stosowanymi zespołami tnącymi w tego typu maszynach są nożycowo-palcowe zespoły tnące. Pomimo szerokiego zastosowania nożycowo-palcowych zespołów tnących w maszynach rolniczych ich konstrukcja nie ulegała zmianie, a w powszechnie dostępnej, aktualnej literaturze znaleźć można pojedyncze i jedynie koncepcyjne rozwiązania ich nowych konstrukcji [3]. Wadą i niedogodnością istniejących i powszechnie stosowanych konstrukcji nożycowo-palcowych zespołów tnących jest stosunkowo duże zużycie energii.

W ramach oceny efektywności funkcjonowania znanej konstrukcji nożycowo-palcowego zespołu tnącego przeprowadzono analizę obciążenia generowanego przez zespół tnący kosiarki na wał odbioru mocy [4]. Analizę przeprowadzono dla ruchu jałowego i pod obciążeniem.

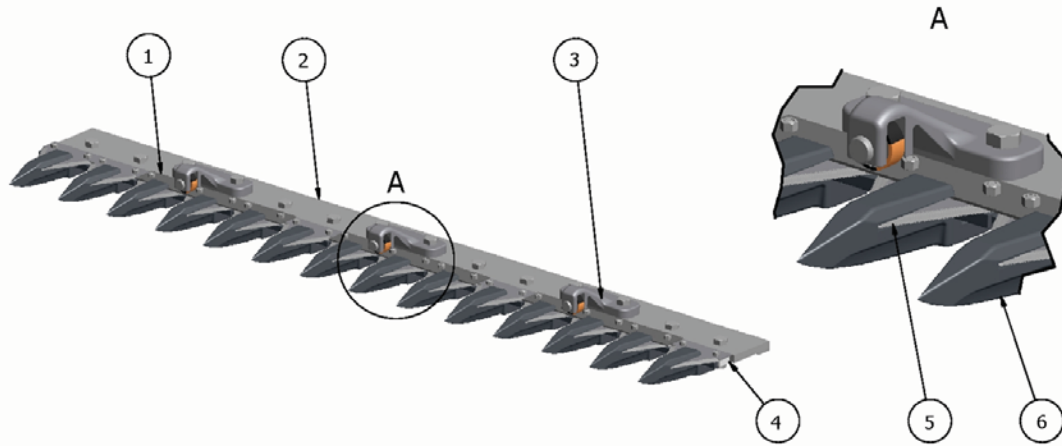
Z wyników badań jednoznacznie wynika, iż zdecydowany ponad 90% udział w zużyciu energii podczas realizacji procesu cięcia przypada na ruch jałowy zespołu roboczego.

Dlatego celowe jest podjęcie tematu dotyczącego konstrukcji i efektywności funkcjonowania nożycowo-palcowych zespołów tnących.

### 2. Nowa konstrukcja nożycowo-palcowego zespołu tnącego

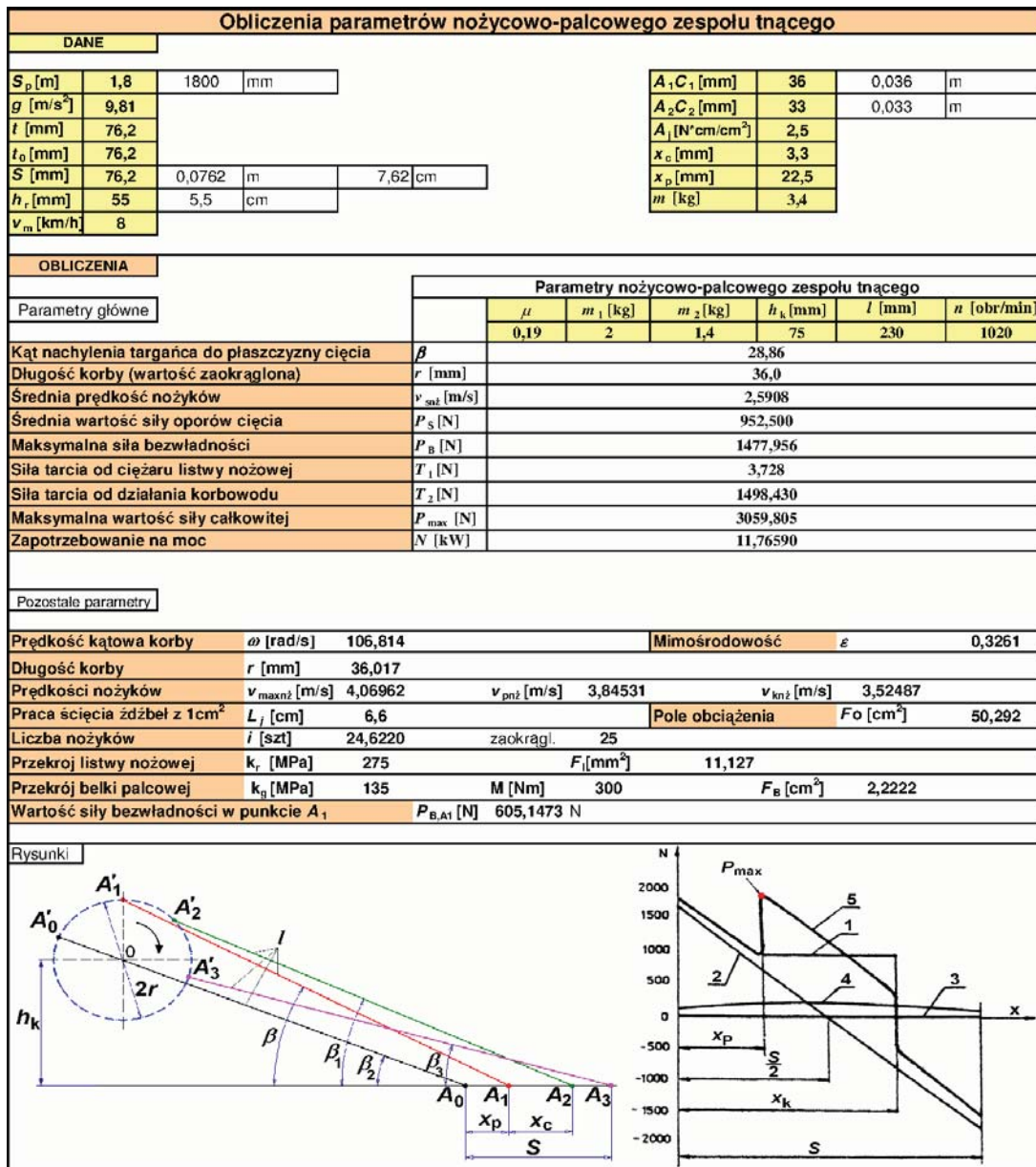
Istota nowej konstrukcji nożycowo-palcowego zespołu tnącego (rys. 1) zmienna jest tym, że w miejsce standardowych przycisków ślizgowych zastosowano innowacyjne przyciski (nowej konstrukcji) posiadające otwór, w którym umieszczono rolkę osadzoną na sworzniu. Dodatkowo zastosowano listwę nożową o zmniejszonym przekroju poprzecznym, a powierzchnie palców, z którymi współpracuje listwa nożowa poddano procesowi galwanizacji. Te zabiegi mają pozwolić na obniżenie zapotrzebowania na moc potrzebną do pokonania sił tarcia w ruchu jałowym zespołu tnącego.

Nożycowo-palcowy zespół tnący przedstawiony na rys. 1 składa się z dwóch zasadniczych elementów: nieruchomej belki palcowej (2) oraz listwy nożowej (4). Do belki palcowej przymocowane są podwójne palce (6), których boczne krawędzie stanowią krawędź przeciwną. W trakcie pracy zespołu tnącego listwa nożowa 4 wykonuje ruch posuwisto-zwrotny, a wraz z nią poruszają się nożyki (5) przymocowane do listwy nożowej (4). W opisywanym nożycowo-palcowym zespole tnącym dla prawidłowego przylegania nożyków do krawędzi przeciwnych zastosowano przyciski (3) o innowacyjnej konstrukcji, które rozmieszczono przy co drugim palcu podwójnym. Na powierzchni nożyków zamocowano nakładki (1) stanowiące bieżnię dla rolek. Takie rozwiązanie pozwoliło na wyeliminowanie tar-



Rys. 1. Nowa konstrukcja nożycowo-palcowego zespołu tnącego: 1 – nakładka nożyka, 2 – belka palcowa, 3 – przycisk, 4 – listwa nożowa, 5 – nożyk, 6 – palec

Rys. 1. The new construction of scissor-finger unit: 1 – pad of cutter, 2 – finger beam, 3 – button, 4 – knife bar, 5 – knife, 6 – finger



Rys. 2. Widok okna programu do obliczeń symulacyjnych nożycowo-palcowego zespołu tnącego

Fig. 2. View of the computer program for simulation calculations of scissor-finger cutting unit

cia ślizgowego pomiędzy przyciskiem a nożykiem (występujących w znanych konstrukcjach nożycowo-palcowych zespołów tnących), zastępując je tarcie toczne pomiędzy rolką przycisku, a nakładką nożyka. W rezultacie taka konstrukcja zespołu tnącego powoduje zmniejszenie oporów ruchu pochodzących od sił tarcia.

Ponadto powierzchnie palców, po których przemieszczają się nożyki i listwa nożowa zostały pokryte chromem, poprzez zastosowanie procesu galwanizacji. Tego rodzaju powłoki na wskazanych powierzchniach charakteryzują się zwiększoną twardością, odpornością na ścieranie oraz uzyskano efekt zmniejszenia współczynnika tarcia pomiędzy elementami współpracującymi.

Dodatkowo w nowej konstrukcji zespołu tnącego zastosowano stal 15H do wykonania listwy nożowej. Fakt ten spowodował zwiększenie wytrzymałości oraz twardości listwy nożowej w stosunku do tradycyjnego rozwiązania. Dzięki temu możliwe było zredukowanie powierzchni przekroju poprzecznego listwy nożowej o połowę, czego skutkiem jest obniżenie jej masy. Tego typu zmiany mają znaczący wpływ na zmniejszenie sił tarcia i sił bezwładności, co bezpośrednio przekłada się na zmniejszenie zapotrzebowania na energię nożycowo-palcowego zespołu tnącego.

### 3. Wybrane obliczenia projektowe nożycowo-palcowego zespołu tnącego

Podstawowe obliczenia nożycowo-palcowego zespołu tnącego wykonano zgodnie z modelami obliczeniowymi dostępnymi w literaturze [1, 2].

W celu porównania tradycyjnej konstrukcji nożycowo-palcowego zespołu tnącego z nową jego konstrukcją przeprowadzono obliczenia symulacyjne.

W ramach realizacji zadania opracowano narzędzie obliczeniowe do szybkiej identyfikacji zapotrzebowania na moc oraz sił działających w nożycowo-palcowych zespołach tnących pod wpływem zmian charakterystycznych wielkości wejściowych takich jak:  $\mu$  – współczynnik tarcia,  $m_1$  – masa listwy nożowej,  $m_2$  – masa części korbowodu,  $h_k$  – odległość osi symetrii wału korby od płaszczyzny ruchu listwy nożowej,  $l$  – długość korbowodu (targańca) oraz  $n$  – prędkość obrotowa korby.

Na etapie realizacji badań symulacyjnych obliczano w kolejności:

- $v_{snz}$  - średnią prędkość nożyków,
- $P_S$  - średnią wartość siły oporów cięcia,
- $P_B$  - maksymalną siłą bezwładności,
- $T_1$  - siłę tarcia od ciężaru listwy nożowej,
- $T_2$  - siłę tarcia od działania korbowodu,
- $P_{max}$  - maksymalną wartość siły całkowitej,
- $N$  - zapotrzebowanie na moc.

Przykładowy widok narzędzia obliczeniowego przedstawiono na rys. 2.

W tab. 1 przedstawiono wyniki obliczeń dla ogólnie znanej (klasycznej) konstrukcji nożycowo-palcowego zespołu tnącego. W tab. 2 zamieszczono natomiast wyniki obliczeń dla nowej konstrukcji zespołu tnącego.

Z tab. 1 i 2 można odczytać, że zmniejszenie wartości współczynnika tarcia  $\mu$  i masy  $m_1$  dla nowej konstrukcji zespołu tnącego wyraźnie wpływa na zmniejszenie wartości sił:  $P_B$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $P_{max}$ . Efektem tych zmian jest uzyskanie zmniejszonego zapotrzebowania na moc  $N$ .

Opracowane narzędzie do obliczeń symulacyjnych pozwala na szybką identyfikację zapotrzebowania na moc oraz wartości sił działających także w innych zespołach roboczych nożycowo-palcowych zespołów tnących po wprowadzeniu zmian w ich konstrukcji.

Tab. 1. Wyniki obliczeń symulacyjnych dla klasycznej konstrukcji nożycowo-palcowego zespołu tnącego  
Table 1. Simulation results for the classical construction of scissor-finger cutting unit

		Wielkości wejściowe do obliczeń symulacyjnych					
		$\mu$	$m_1$ [kg]	$m_2$ [kg]	$h_k$ [mm]	$l$ [mm]	$n$ [obr·min <sup>-1</sup> ]
		0,3	4	1,4	75	230	1020
Wyniki obliczeń	$v_{snz}$ [m·s <sup>-1</sup> ]	2,59					
	$P_S$ [N]	952,5					
	$P_B$ [N]	2347,34					
	$T_1$ [N]	11,77					
	$T_2$ [N]	2186,62					
	$P_{max}$ [N]	4112,01					
	$N$ [kW]	15,81					

Tab. 2. Wyniki obliczeń symulacyjnych dla nowej konstrukcji nożycowo-palcowego zespołu tnącego  
Table 2. Simulation results for the new construction of scissor-finger cutting unit

		Wielkości wejściowe do obliczeń symulacyjnych					
		$\mu$	$m_1$ [kg]	$m_2$ [kg]	$h_k$ [mm]	$l$ [mm]	$n$ [obr·min <sup>-1</sup> ]
		0,19	2	1,4	75	230	1020
Wyniki obliczeń	$v_{snz}$ [m·s <sup>-1</sup> ]	2,59					
	$P_S$ [N]	952,5					
	$P_B$ [N]	1477,95					
	$T_1$ [N]	3,72					
	$T_2$ [N]	1498,43					
	$P_{max}$ [N]	3059,80					
	$N$ [kW]	11,76					

Tab. 3. Wyniki obliczeń symulacyjnych nożycowo-palcowego zespołu tnącego przy korekcie  $m_2$  – masy części korbowodu  
 Table 3. Simulation results for the scissor-finger cutting unit for adjustment of  $m_2$  - mass of the crank

		Wielkości wejściowe do obliczeń symulacyjnych					
		$\mu$	$m_1$ [kg]	$m_2$ [kg]	$h_k$ [mm]	$l$ [mm]	$n$ [obr·min <sup>-1</sup> ]
		0,3	4	0,7	75	230	1020
Wyniki obliczeń	$v_{snz}$ [m·s <sup>-1</sup> ]	2,59					
	$P_s$ [N]	952,5					
	$P_B$ [N]	2043,05					
	$T_1$ [N]	11,77					
	$T_2$ [N]	1985,7					
	$P_{max}$ [N]	3786,5					
	$N$ [kW]	14,56					

Tab. 4. Wyniki obliczeń symulacyjnych nożycowo-palcowego zespołu tnącego przy korekcie  $h_k$  - odległości osi symetrii wału korby od płaszczyzny ruchu listwy nożowej

Tab. 4. Simulation results for the scissor-finger cutting unit for adjustment of  $h_k$  - distance of the crank shaft axis from the plane of movement of the knife bar

		Wielkości wejściowe do obliczeń symulacyjnych					
		$\mu$	$m_1$ [kg]	$m_2$ [kg]	$h_k$ [mm]	$l$ [mm]	$n$ [obr·min <sup>-1</sup> ]
		0,3	4	1,4	25	230	1020
Wyniki obliczeń	$v_{snz}$ [m·s <sup>-1</sup> ]	2,59					
	$P_s$ [N]	952,5					
	$P_B$ [N]	2347,34					
	$T_1$ [N]	11,77					
	$T_2$ [N]	1029,24					
	$P_{max}$ [N]	2954,63					
	$N$ [kW]	11,36					

Tab. 5. Wyniki obliczeń symulacyjnych nożycowo-palcowego zespołu tnącego przy korekcie  $m_2$  – masy części korbowodu oraz  $l$  – długości korbowodu (targańca)

Table 5. Simulation results for the scissor-finger cutting unit for adjustment of  $m_2$  - mass of the crank and  $l$  – length of the crank

		Wielkości wejściowe do obliczeń symulacyjnych					
		$\mu$	$m_1$ [kg]	$m_2$ [kg]	$h_k$ [mm]	$l$ [mm]	$n$ [obr·min <sup>-1</sup> ]
		0,3	4	2,1*	75	345	1020
Wyniki obliczeń	$v_{snz}$ [m·s <sup>-1</sup> ]	2,59					
	$P_s$ [N]	952,5					
	$P_B$ [N]	2651,62					
	$T_1$ [N]	11,77					
	$T_2$ [N]	1386,72					
	$P_{max}$ [N]	3436,7					
	$N$ [kW]	13,21					

\* wzrost masy korbowodu spowodowany zwiększeniem jego długości

Tab. 6. Wyniki obliczeń symulacyjnych nożycowo-palcowego zespołu tnącego przy korekcie  $n$  – prędkości obrotowej korby

Table 6. Simulation results for the scissor-finger cutting unit for adjustment of  $n$  – crank speed

		Wielkości wejściowe do obliczeń symulacyjnych					
		$\mu$	$m_1$ [kg]	$m_2$ [kg]	$h_k$ [mm]	$l$ [mm]	$n$ [obr·min <sup>-1</sup> ]
		0,3	4	1,4	75	230	850
Wyniki obliczeń	$v_{snz}$ [m·s <sup>-1</sup> ]	2,15					
	$P_s$ [N]	952,5					
	$P_B$ [N]	1630,1					
	$T_1$ [N]	11,77					
	$T_2$ [N]	1713,03					
	$P_{max}$ [N]	3344,74					
	$N$ [kW]	10,71					

Dlatego w ramach projektowania nowych konstrukcji zespołów tnących przeprowadzono również analizę wpływu:  $m_2$  – masy części korbowodu,  $h_k$  - odległości osi symetrii wału korby od płaszczyzny ruchu listwy nożowej,  $l$  – długości korbowodu (targańca) oraz  $n$  – prędkości obrotowej

wej korby na wielkości wyjściowe otrzymane w ramach obliczeń symulacyjnych. W trakcie analizy symulacyjnej generowano zmiany poszczególnych, charakterystycznych wartości wejściowych (tab. 3-6) oraz zmiany wszystkich wielkości wejściowych jednocześnie (tab. 7). Wyniki z ob-

Tab. 7. Wyniki obliczeń symulacyjnych nożycowo-palcowego zespołu tnącego przy korekcie wszystkich czynników  
 Table 7. Simulation results for the scissor-finger cutting unit for adjustment of all factors

		Wielkości wejściowe do obliczeń symulacyjnych					
		$\mu$	$m_1$ [kg]	$m_2$ [kg]	$h_k$ [mm]	$l$ [mm]	$n$ [obr. $\cdot$ min $^{-1}$ ]
		0,19	2	1,05	25	345	850
Wyniki obliczeń	$v_{snz}$ [m $\cdot$ s $^{-1}$ ]	2,1					
	$P_s$ [N]	952,5					
	$P_B$ [N]	920,7					
	$T_1$ [N]	3,72					
	$T_2$ [N]	361,29					
	$P_{max}$ [N]	1694,5					
	$N$ [kW]	5,43					

liczeń symulacyjnych przedstawione w tab. od 3 do 7 porównano z wynikami zamieszczonymi w tab. 1, które dotyczą znanej konstrukcji nożycowo-palcowego zespołu tnącego.

W przypadku gdy zostaje zmniejszona o połowę masa korbowodu maleją wartości siły  $P_B$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ , oraz  $P_{max}$ . Konsekwencją tego jest nieduży, lecz zauważalny spadek zużycia energii zespołu tnącego.

Po obniżeniu wysokości osi obrotu korby w stosunku do płaszczyzny ruchu listwy nożowej (tab. 4) widoczne jest zmniejszenie wartości siły  $T_2$  przez co zmniejszeniu uległa wartość siły  $P_{max}$  i zapotrzebowanie na moc  $N$ .

Konsekwencją zwiększenia długości targańca jest wzrost jego masy  $m_2$ , przez co wzrasta wartość siły  $P_B$ . Pomimo wzrostu wartości siły bezwładności  $P_B$ , zmalała wartość siły  $P_{max}$  oraz zapotrzebowanie na moc  $N$ .

W sytuacji przedstawionej w tab. 6 gdzie zmniejszono prędkość obrotową  $n$  napędu zespołu tnącego, obniżeniu uległa średnia prędkość nożyków  $v_{snz}$ . Obniżenie prędkości cięcia nie jest pożądanym efektem, jednakże wartość  $v_{snz}$  nie zmalała poniżej minimalnej średniej prędkości nożyków dla traw tj. 2.15 m $\cdot$ s $^{-1}$ . Dodatkowo zmniejszeniu uległy wartości siły  $P_B$ ,  $T_2$ ,  $P_{max}$  oraz zapotrzebowanie na moc  $N$ .

Rozważając wyniki obliczeń symulacyjnych (tab. 1), w których zastosowano równocześnie wszystkie zmiany wielkości wejściowych do obliczeń, zauważyć można zmniejszenie zapotrzebowania na moc oraz sił działających w stosunku do klasycznego zespołu tnącego dla którego wyniki przedstawiono w tab. 1. W dużym stopniu zmalały wartości sił przeciwdziałających ruchowi listwy nożowej, a zwłaszcza siły  $T_1$  i  $T_2$  poza średnią siłą oporów cięcia  $P_s$ , która w każdym przypadku była jednakowa. W wyniku tych zabiegów otrzymano największy spadek zapotrzebowania na moc zespołu tnącego spośród wszystkich dokonanych wcześniej symulacji.

Analizując wyniki, które otrzymano w wyniku przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych, stwierdzić można, że każda z wielkości  $\mu$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $h_k$ ,  $l$  oraz  $n$  ma istotny wpływ na pracę nożycowo-palcowego zespołu tnącego. Poprzez odpowiednią zmianę (zwiększenie lub zmniejszenie danej wielkości), uzyskać można korzystniejszą charakterystykę pracy zespołu tnącego. Przy odpowiedniej konfiguracji możliwe jest zredukowanie sił występujących w noży-

cowo-palcowym zespole tnącym, czego konsekwencją jest zmniejszenie jego zapotrzebowania na moc. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż w żadnym z rozpatrywanych przypadków nie wystąpiła zmiana siły oporów cięcia. Ponadto dzięki zmniejszeniu sił występujących w nożycowo-palcowym zespole tnącym uzyskać można mniejsze zużycie jego elementów, a zwłaszcza prowadnic i nożyków. Mniejsze opory ruchu oznaczają także bardziej równomierną pracę zespołu tnącego i zmniejszone drgania. Wobec tego w pełni uzasadnione jest prowadzenie dalszych prac badawczych nożycowo-palcowego zespołu tnącego, które prowadziłyby do ich poprawy efektywności jego działania.

#### 4. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano nową konstrukcję nożycowo-palcowego zespołu tnącego. Przeprowadzono obliczenia wartości sił działających w układzie roboczym oraz zapotrzebowanie na moc w oparciu o narzędzie obliczeniowe opracowane na podstawie modeli obliczeniowych dostępnych w literaturze. Obliczeń dokonano dla tradycyjnej konstrukcji nożycowo-palcowego zespołu tnącego, dla której zapotrzebowanie na moc wynosi 15,81 kW i dla nowej konstrukcji zespołu tnącego, dla której zapotrzebowanie na moc wynosi 11,76 kW. Obliczenia jednoznacznie dowodzą, że zaproponowana nowa konstrukcja nożycowo-palcowego zespołu tnącego charakteryzuje się większą efektywnością funkcjonowania, z uwagi na fakt mniejszego zapotrzebowania na moc.

#### 5. Literatura

- [1] Bochat A.: Teoria i konstrukcja zespołów tnących maszyn rolniczych. Wyd. Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz 2010.
- [2] Gach S., Kuczewski J., Waszkiewicz Cz.: Maszyny rolnicze: elementy teorii i obliczeń. Wyd. SGGW, Warszawa 1991.
- [3] Guarnieri A., Maglioni C., Molari G. 2007. Dynamic analysis of reciprocating single-blade cutter bars. Transaction of ASABE. Vol. 50(3):755-764.
- [4] Zastempowski M.: Ocena efektywności funkcjonowania nożycowo-palcowego zespołu tnącego na wybranym przykładzie kosiarki. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, nr 5/2010, s.144-145.