

## WPLYW GEOMETRII NARZĘDZIA TNĄCEGO NA PRZEBIEG PROCESU CIĘCIA WYBRANYCH WARZYW KORZENIOWYCH

*R. Nadulski*

Katedra Maszynoznawstwa i Inżynierii Przemysłu Spożywczego AR  
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin

**Streszczenie.** Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie badań dotyczących wpływu kąta ostrza na przebieg procesu cięcia na plastry korzeni marchwi i pietruszki. Zakres pracy obejmował badanie procesu cięcia na aparacie Instron z wykorzystaniem własnej konstrukcji zespołu tnącego i analizę obrazu uzyskanych przekrojów. Przeprowadzone badania wykazały, że wzrost kąta ostrza powoduje statystycznie istotny wzrost oporów cięcia i jednostkowej pracy cięcia w granicach 20%-30%.

**Słowa kluczowe:** Cięcie, ostrze, kąt, marchew, pietruszka.

### WSTĘP

Procesy rozdrabniania powszechnie występują w przetwórstwie surowców pochodzenia roślinnego. Szczególnym przypadkiem procesu rozdrabniania jest krojenie, które ma na celu nadanie produktom obok określonych wymiarów, również określonego kształtu. W wyniku cięcia najczęściej uzyskuje się produkty w postaci plasterków, słupków, segmentów, formatek lub kostki.

Na proces cięcia roślin wpływa wiele czynników, które dotyczą konstrukcji zespołu tnącego, ukształtowania ostrza elementu tnącego, właściwości fizycznych (głównie mechanicznych) materiału roślinnego. W procesie cięcia ważną rolę odgrywa również poślizg ostrza. Stwierdzono, że zachodzący podczas cięcia poślizg ostrza zmniejsza opory cięcia dając gładszą powierzchnię przekroju, mniejszy stopień miażdżenia, podwyższa też trwałość ostrza [3]. Badania procesu cięcia skoncentrowane są w kilku obszarach. Pierwszy obszar badań ma na celu

doskonalenie konstrukcji zespołów roboczych maszyn tnących. Drugi kierunek badań obejmuje problematykę dotyczącą wpływu parametrów ostrza na przebieg cięcia. Trzeci dotyczy problematyki związanej z poznaniem zjawisk fizycznych i biologicznych zachodzących podczas cięcia materiału roślinnego. W tym przypadku badania procesu cięcia materiałów pochodzenia roślinnego prowadzone są przede wszystkim pod kątem wyznaczenia siły, przy której następuje płynięcie materiału, maksymalnej siły cięcia, pracy cięcia, kąta pochylenia krzywej itp.

Jak wykazują badania, opory cięcia zależą od czynników agrotechnicznych, cech odmianowych, okresu przechowywania, od miejsca, z którego pobrana jest próbka, a także od warunków meteorologicznych w czasie wegetacji [1-5].

Cięcie materiału jest procesem złożonym, obejmującym kilka faz. Żuk [6] wyróżnia cztery zasadnicze fazy procesu cięcia ździebeł zbóż. Pierwsza dotyczy odkształcenia sprężystego źdźbła i trwa do momentu wystąpienia pęknięć, druga pojawia się z chwilą niszczenia tkanki źdźbła i trwa do rozpoczęcia dzielenia tkanki w płaszczyźnie działania noża, trzecia obejmuje dalsze niszczenie tkanki poprzez dzielenie źdźbła. W tej fazie występuje zgniatanie źdźbła i stopniowy wzrost oporów tarcia między nożem i źdźbłem. Czwarta faza odpowiada przejściu noża nad źdźbłem i kończy się z chwilą zaniknięcia kontaktu ze źdźbłem. Jak wykazały badania, największe zużycie energii i opory cięcia występują w fazie trzeciej i czwartej. Ogólny opór cięcia warstwy materiału jest sumą oporów cięcia w poszczególnych punktach obciążonego ostrza. Prawidłowy przebieg procesu cięcia wyrażający się gładką powierzchnią daje minimalne opory cięcia. W przeciwnym przypadku, podczas procesu cięcia następuje deformacja powierzchni – rozrywanie i zgniatanie, co w efekcie zwiększa opory cięcia.

Jako parametr charakteryzujący pod względem energochłonności proces cięcia materiału roślinnego przyjmuje się jednostkową ogólną pracę cięcia. Według Bzowskiej-Bakalarz [1] wartości ogólnej pracy cięcia korzeni buraków cukrowych zawierają się w przedziale 0,18-0,50 J, natomiast wartości siły cięcia w przedziale 12,2-35,3 N. Badania Kowalskiego [2] wykazały, że siła cięcia buraków cukrowych wynosi od 16,4 N do 22,9 N, natomiast dla ziemniaków opory cięcia są blisko trzykrotnie mniejsze.

Według Szota [5] praca cięcia korzenia marchwi nożem o grubości 1 mm, jednostronnie zaostrzonym, z prędkością 100 mm/min, bezpośrednio po zbiorze jest największa, a następnie maleje, po czym w kolejnych miesiącach stabilizuje się.

Prace nad wpływem geometrycznych parametrów ustawienia noża na opory krojenia niektórych owoców i warzyw prowadzili Popko i Mischczuk [4]. Według

autorów w celu zmniejszenia energochłonności procesu cięcia w konstrukcjach maszyn do rozdrabniania należy dobierać optymalne wartości kąta natarcia i przyłożenia noża dla ciętych materiałów.

Uzyskane wartości sił tnących często są odnoszone do pola przekroju poprzecznego próbki. Badania prowadzone są z reguły na próbkach o regularnym kształcie np. walca, prostopadłościanu lub sześciangu wycinanych z badanych surowców. Powoduje to naruszenie ciągłości struktury owoców lub warzyw i wpływa na wynik pomiaru.

Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie badań nad wpływem kąta ostrza na przebiegu procesu cięcia na plastry całych warzyw korzeniowych w powiązaniu z równoczesną analizą przekroju. Zakres pracy obejmował badanie procesu cięcia na aparacie Instron i analizę obrazu uzyskanych przekrojów.

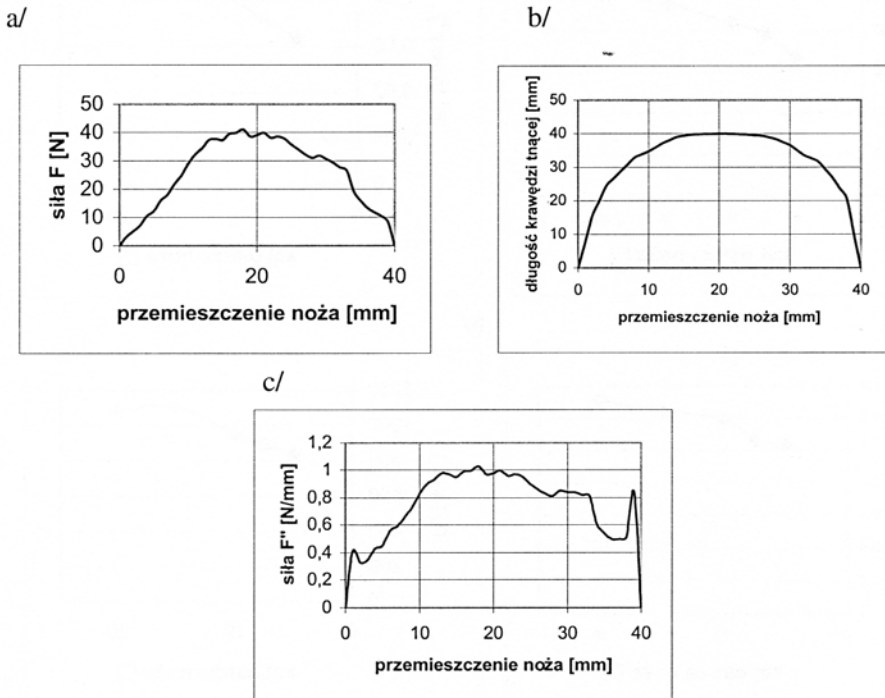
#### MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono na korzeniach marchwi odmiany Perfekcja i korzeniach pietruszki odmiany Berlińska. Do badań użyto korzeni zdrowych, świeżych, bez uszkodzeń mechanicznych, ze zbioru w 2000 roku.

Badania wykonywano na maszynie wytrzymałościowej Instron 4302 wyposażonej w głowicę pomiarową o zakresie 0-100 kN. Opracowano i wykonano specjalną przystawkę umożliwiającą prowadzenie badań procesu cięcia. W badaniach użyto elementów tnących o różnym kącie ostrza. Stosowano noże o grubości 3 mm, jednostronnie zaostrzone o kącie ostrza:  $5^{\circ}$ ,  $7,5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  i  $20^{\circ}$ . W celu zapewnienia właściwej orientacji próbek w czasie badań znakowano je linią wzdłuż długości. Badany materiał umieszczano równolegle do podstawy, a następnie obciążano prostopadle elementem tnącym ze stałą prędkością 100 mm/min (Rys. 1). Korzenie cięto na plastry o grubości 3 mm. Krawędź ostrza przemieszczała się równolegle do podstawy. Każdy pomiar wykonywano w 10 powtórzeniach. Otrzymane plastry umieszczano w komorze systemu wizyjnego, uzyskany z kamery obraz zapisywano w pamięci komputera. Z otrzymanych przebiegów siły w funkcji przemieszczenia wyznaczono: maksymalną siłę tnącą ( $F_t$ ), przemieszczenie narzędzia tnącego odpowiadające maksymalnej sile tnącej ( $l_t$ ), pracę cięcia ( $P_t$ ).

W oparciu o otrzymane wyniki obliczono jednostkową pracę cięcia ( $P_{ij}$ ). Maksymalną siłę tnącą odniesiono do jednostki przekroju poprzecznego ( $F_t'$ ) oraz do jednostki długości krawędzi tnącej noża ( $F_t''$ ). Do analizy obrazu ciętych korzeni i wyznaczenia przekrojów poprzecznych oraz długości krawędzi tnących

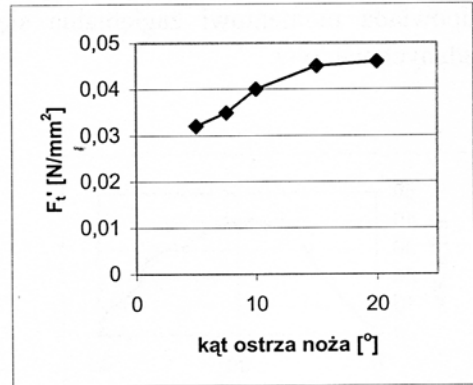
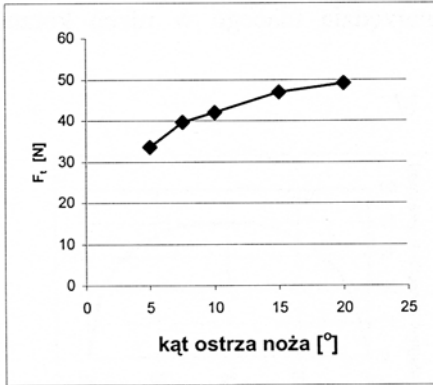
osiągnięciu maksimum siła tnąca maleje a następnie po ponownym wzroście spada do zera. Przebieg zmian siły tnącej w wartościach bezwzględnych nie pokrywa się z przebiegiem sił tnących odniesionych do jednostki długości kontaktującej się z materiałem krawędzi tnącej. Charakter zmian jest taki sam dla wszystkich badanych próbek niezależnie od przyjętych warunków pomiaru. Szczegółowa analiza wykresów w powiązaniu z interpretacją uzyskanych przekrojów wykazała, że maksymalna siła tnąca w większości przypadków odpowiada momentowi zagłębiania się narzędzia tnącego w rdzeń korzenia badanych warzyw.



**Rys. 2.** Przebieg: a/ siły tnącej w funkcji przemieszczenia noża, b/ długości krawędzi tnącej w funkcji przemieszczenia noża, c/ siły tnącej odniesionej do jednostki długości krawędzi tnącej w funkcji przemieszczenia noża.

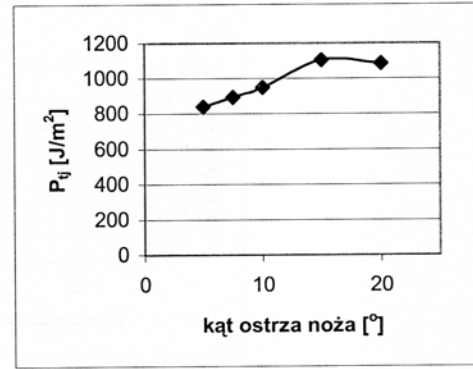
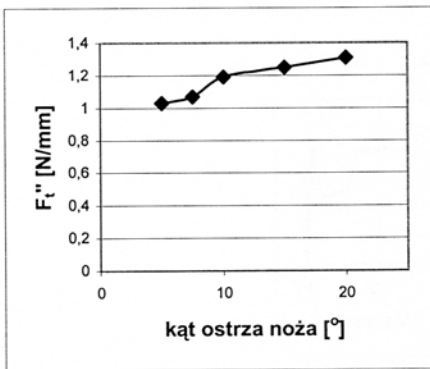
**Fig. 2.** Course of: a/ shear force depending on displacement of blade, b/ length of blade depending on displacement of blade, c/ shear force for an unit distance of blade depending on displacement of blade.

Wpływ wielkości kąta ostrza na wartości badanych parametrów charakteryzujących proces cięcia korzenia marchwi przedstawiono na Rys. 3. Przeprowadzone badania wykazały, że wzrost kąta ostrza powoduje statystycznie istotny wzrost oporów cięcia i jednostkowej pracy cięcia. W przypadku cięcia korzenia marchwi zwiększenie kąta ostrza z  $5^{\circ}$  do  $20^{\circ}$  powoduje wzrost maksymalnej siły tnącej o ok. 46,4%, maksymalnej siły tnącej odniesionej do jednostki powierzchni



a/

b/



c/

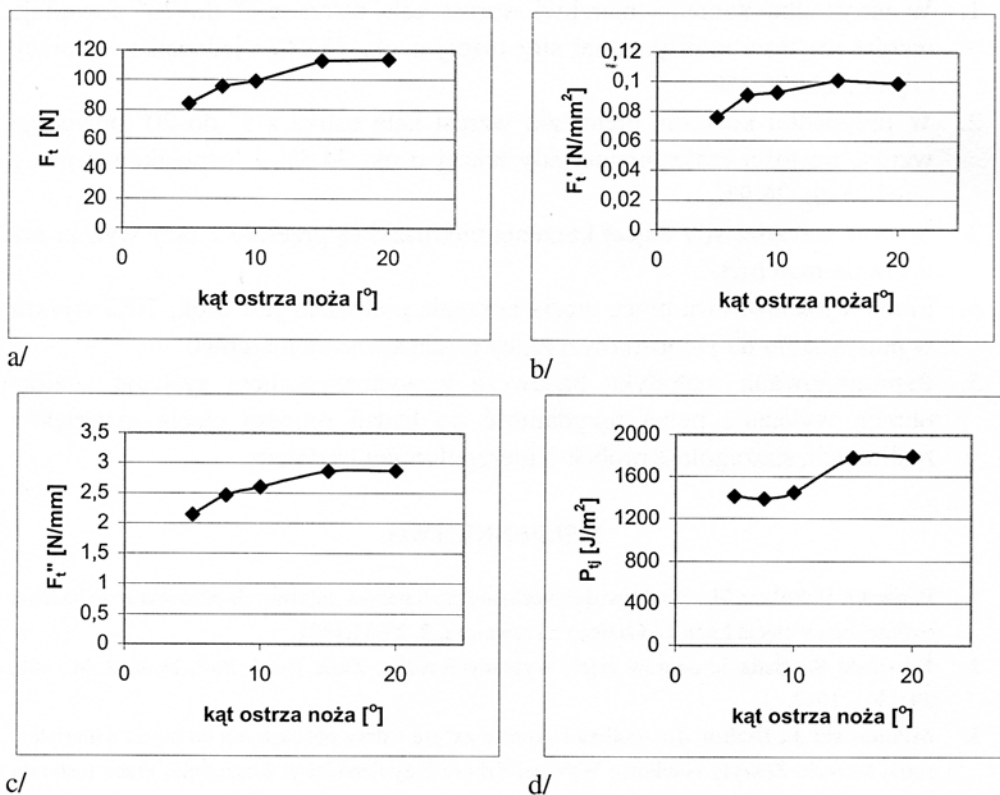
d/

**Rys. 3.** Wpływ kąta ostrza noża na parametry charakteryzujące proces cięcia korzenia marchwi: a/ maksymalna siła tnąca ( $F_t$ ), b/ maksymalna siła tnąca odniesiona do jednostki powierzchni próbki ( $F_t'$ ), c/ maksymalna siła tnąca odniesiona do jednostki długości krawędzi tnącej ( $F_t''$ ), d/ jednostkowa praca cięcia ( $P_{ij}$ ).

**Fig. 3.** The influence of blade angle on parameters characterising slicing process of carrot root: a/ maximal shear force ( $F_t$ ), b/ maximal shear force for an unit area of probe ( $F_t'$ ), c/ maximal shear force for an unit distance of blade ( $F_t''$ ), d/ unitary work of slicing ( $P_{ij}$ ).

przekroju o ok. 43,8% i maksymalnej siły tnącej odniesionej do jednostki długości krawędzi tnącej o ok. 39,3%. Różnice te wskazują na to, że cechy geometryczne przekroju korzenia marchwi wpływają wyraźnie na wynik pomiaru i celowe jest w badaniach procesu cięcia uwzględnianie tego czynnika. Zmiana kąta ostrza w zakresie od  $5^{\circ}$  do  $20^{\circ}$  powoduje wzrost jednostkowej pracy cięcia korzenia marchwi o ok. 29,1%.

Na Rys. 4 przedstawiono wpływ wielkości kąta ostrza na wartości badanych parametrów charakteryzujących proces cięcia korzenia pietruszki. W tym przypadku badania również wykazały, że wzrost kąta ostrza powoduje statystycznie



**Rys. 4.** Wpływ kąta ostrza noża na parametry charakteryzujące proces cięcia korzenia pietruszki: a/ maksymalna siła tnąca ( $F_t$ ), b/ maksymalna siła tnąca odniesiona do jednostki powierzchni próbki ( $F_t'$ ), c/ maksymalna siła tnąca odniesiona do jednostki długości krawędzi tnącej ( $F_t''$ ), d/ jednostkowa praca cięcia ( $P_{ij}$ ).

**Fig. 4.** The influence of blade angle on parameters characterising slicing process of parsley root: a/ maximal shear force ( $F_t$ ), b/ maximal shear force for an unit area of probe ( $F_t'$ ), c/ maximal shear force for an unit distance of blade ( $F_t''$ ), d/ unitary work of slicing ( $P_{ij}$ ).

istotny wzrost oporów cięcia i jednostkowej pracy cięcia. Dla korzenia pietruszki zwiększenie kąta ostrza noża z  $5^{\circ}$  do  $20^{\circ}$  powoduje wzrost maksymalnej siły tnącej o ok. 34,5%, maksymalnej siły tnącej odniesionej do jednostki powierzchni przekroju o ok. 32,1%, maksymalnej siły tnącej odniesionej do jednostki długości krawędzi tnącej o ok. 30,2% i jednostkowej pracy cięcia o ok. 26,9%.

### WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. W przypadku korzenia marchwi wzrost kąta ostrza z  $5^{\circ}$  do  $20^{\circ}$  powoduje wzrost wartości maksymalnej siły tnącej o ok. 46,2% i jednostkowej pracy cięcia o ok. 29,1%.
2. W przypadku korzenia pietruszki wzrost kąta ostrza z  $5^{\circ}$  do  $20^{\circ}$  powoduje wzrost wartości maksymalnej siły tnącej o ok. 34,5% i jednostkowej pracy cięcia o ok. 26,9%.
3. Średnie wartości siły tnącej korzenia pietruszki są przeszło 2 razy wyższe niż korzenia marchwi.
4. Średnia jednostkowa praca cięcia korzenia pietruszki jest o ok. 70% wyższa w porównaniu do jednostkowej pracy cięcia korzenia marchwi.
5. Zaproponowana metodyka badawcza z wykorzystaniem systemu analizy obrazu wykazuje pełną przydatność do badań procesu cięcia materiałów roślinnych, szczególnie próbek o nieregularnym kształcie.

### PIŚMIENNICTWO

1. **Bzowska-Bakalarz M.:** Właściwości mechaniczne buraków cukrowych-porównawcze badania ogólnej pracy cięcia korzeni. *Gazeta Cukrownicza*, 2, 29-31, 1987.
2. **Kowalski S.:** Badanie oporów cięcia wybranych roślin. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 408, 297-303, 1993.
3. **Milanowski J., Diakun J.:** Analiza i synteza zarysu ostrzy obrotowych do cięcia materiałów spożywczych. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Koszalinie, Prace Instytutu Budowy Maszyn*, 3, Koszalin, 1990.
4. **Popko H., Miszczuk M.:** Badanie oporów krajania niektórych produktów spożywczych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 354, 147-151, 1989.
5. **Szot B., Kęsik T., Gołacki K.:** Badanie zmienności właściwości mechanicznych korzeni marchwi w zależności od cech odmianowych, czynników agrotechnicznych i okresu przechowywania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 316, 1987.
6. **Żuk D.:** Badanie procesu cięcia źdźbeł zbóż. 415, 161-166, 1994.

## THE INFLUENCE OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF BLADE ON SLICING PROCESS OF SOME VEGETABLES

*R. Nadulski*

Department of Machinery Food Engineering, Agricultural University  
Doświadczalna 44, 20-236 Lublin

**Summary:** The aim of this paper was to investigate the influence of the angle of the blade on slicing roots of carrot and parsley. The test included the investigations of slicing process using Instron apparatus and analysis pictures of obtained cross-sections using vision system. The investigations showed that the increase of blade angle caused the significant increase of slicing resistance and unitary work of slicing.

**Key words:** Slicing, blade, angle, carrot, parsley.