

Rafał NADULSKI¹, Kazimierz ZAWIŚLAK¹, Marian PANASIEWICZ¹, Jacek SKWARCZ², Agnieszka STAREK¹

e-mail: rafal.nadulski@up.lublin.pl

¹ Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin² Katedra Podstaw Techniki, Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin

Charakterystyka oporów cięcia wybranych materiałów roślinnych o zróżnicowanej budowie morfologicznej

Wstęp

W procesie przetwórstwa materiałów pochodzenia roślinnego ważną rolę odgrywa rozdrabnianie (w tym cięcie). Proces cięcia występuje podczas zbioru roślin jak i podczas obróbki pozbiorowej. W przypadku przetwórstwa żywności proces cięcia prowadzony jest w celu uzyskania produktów w postaci plasterków, słupków, segmentów, formatków lub kostki. Proces cięcia zależy od wielu czynników między innymi od: konstrukcji zespołu roboczego (noża lub noży) i konstrukcji urządzenia (np. zespołu podającego materiał), parametrów pracy urządzenia (np. prędkość), geometrii ostrza i kąta przyłożenia.

Kowalski [1993] poddając cięciu próbki wycinane z korzeni buraka cukrowego stwierdził, że na wartość oporów cięcia wpływają cechy odmianowe, miejsce pobrania próbki oraz prędkość cięcia materiału.

Natomiast Marks i Kowalski [1994] wykazali istnienie zależności pomiędzy oporem cięcia bulw a ich frakcją wymiarową i odmianą ziemniaka. Ponadto stwierdzili korelacje pomiędzy oporem cięcia a wskaźnikiem uszkodzeń bulw podczas zbioru kombajnowego.

Wyniki badań wpływu kąta natarcia i kąta przyłożenia noża na opory krajania pietruszki, marchwi, jabłek, ziemniaków i buraków wykazały, że funkcjonalne zależności oporów krajania od wartości kąta natarcia i kąta przyłożenia mają wyraźne ekstremum w postaci minimum [Popko i Miszczuk, 1989].

W wyniku badań przeprowadzonych na różnych produktach stwierdzono, że zachodzący podczas krojenia poślizg ostrza zmniejsza opory cięcia, polepsza jakość cięcia dając gładszą powierzchnię przekroju, zmniejsza miażdżenie materiału, zwiększając jednocześnie trwałość ostrza [Diakun i in., 1985].

Na efektywność cięcia mają wpływ parametry konstrukcyjno-eksploatacyjne maszyn i urządzeń rozdrabniających oraz właściwości fizykochemiczne rozdrabnianych surowców. Przebieg cięcia zależy przede wszystkim od właściwości i konstrukcji zespołu roboczego (noża lub noży) i zespołu podającego materiał oraz parametrów pracy urządzenia [Dutkiewicz i in., 2011; Matuszewski i Styp-Rekowski, 2009; Baran i Marks, 2000; Nadulski, 2000; Ratajczyk, 1996; Diakun i in., 1985; Popko i Miszczuk, 1983]. Mimo wielu badań nadal istnieją problemy dotyczące optymalizacji procesu cięcia materiałów pochodzenia roślinnego, które charakteryzuje anizotropowość, niejednorodność i nieciągłość. Strukturę warzyw stanowią układy wielofazowe, składające się przede wszystkim z wody i węglowodanów oraz w dużo mniejszym stopniu białek, tłuszczów, soli mineralnych i witamin.

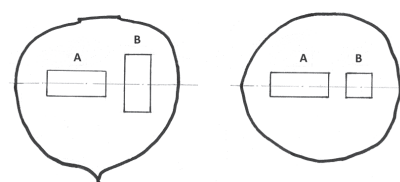
Należy podkreślić, że układ woda – ciało stałe nie jest trwały i zmienia się pod wpływem czynników zewnętrznych. Warzywa i owoce wykazują cechy lepkosprężyste i ich zachowanie można opisać przy pomocy modelu *Maxwella* [Wang i in., 2003]. Właściwości wytrzymałościowe i strukturalne materiałów pochodzenia roślinnego zależą między innymi od warunków uprawy i zbioru, stopnia dojrzałości, cech odmianowych, czasu i sposobu przechowywania surowca.

Celem niniejszej pracy była charakterystyka oporów cięcia gilotynowego, przy niewielkich prędkościach, wybranych materiałów pochodzenia roślinnego o zróżnicowanej budowie morfologicznej. Podczas badań określono wpływ kąta zaostrenia noża na energochłonność procesu a także wyznaczono wartości maksymalnych sił cięcia badanych materiałów.

Warunki i metodyka badań

Badania zostały przeprowadzone na korzeniach następujących warzyw: pietruszka korzeniowa odmiany *Eagle*, burak ćwikłowy odmiany *Czerwona Kula*, seler korzeniowy odmiany *Jablkowy*. Warzywa pochodziły ze zbioru 2012 roku ze specjalistycznych gospodarstw warzywniczych z terenu Lubelszczyzny.

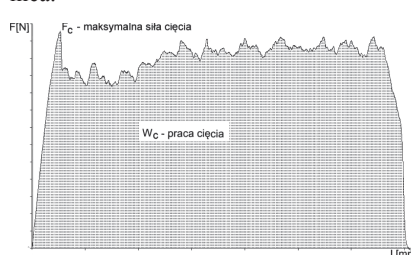
Do badań zostały użyte warzywa o korzeniach zdrowych, świeżych oraz bez uszkodzeń mechanicznych. Średnica w środkowej części korzenia pietruszki wynosiła od 32,6 do 35,1 mm, natomiast średnica korzeni buraków



Rys. 1. Miejsce pobierania próbek z korzenia selera i buraka ćwikłowego (próbka A i próbka B)

ćwikłowych od 59,3 mm do 62,9 mm i selera od 68,6 mm do 75,9 mm. Długość korzenia pietruszki od 171,5 mm do 183,1 mm. Z korzeni wycinano próbki prostokątne o przekroju o wymiarach 15 mm × 15 mm i długości ok. 30 mm. Miejsce pobierania próbek z selera i burak ćwikłowego przedstawiono na rys. 1.

W przypadku pietruszki próbkę A wycinano wzdłuż korzenia a próbkę B w poprzek. Do precyzyjnego wycinania próbek zaprojektowano i wykonano przystawkę z parą równoległe umieszczonych noży. Badania oporów cięcia wykonywano na teksturometrze *TA.TXplus*. Do aparatu opracowano i wykonano przystawkę, w skład której wchodzi zestaw wymiennych noży wraz z uchwytem do ich mocowania oraz prowadnica.



Rys. 2. Przykładowy wykres cięcia próbki z buraka ćwikłowego nożem o kącie zaostrenia 10°

W badaniach użyto noży stalowych o różnym kącie zaostrenia wynoszącym 2,5°, 5°, 7,5°, 10°, 12,5°, 15°, 17,5° i 20°. Badane próbki umieszczano dłuższym wymiarem równoległe do podstawy urządzenia a następnie obciążano prostokątne elementem tnącym ze stałą prędkością

wynoszącą 0,83 mm·s⁻¹. W oparciu o przeprowadzone pomiary wyznaczono maksymalną wartość siły F_p cięcia i wartość pracy cięcia W_c jako pole pod krzywą (Rys. 2).

Statystyczną analizę wyników wykonano stosując program *Statistica 6* firmy *StatSoft* wykorzystując analizę wariancji ANOVA dla układów czynnikowych. Istotność różnic sprawdzano za pomocą testu *Fishera*.

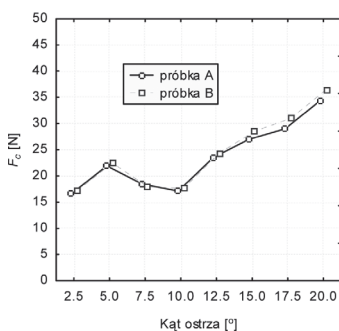
Wyniki badań

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała wpływ cech odmianowych badanych warzyw na wartości maksymalnej siły cięcia i pracy cięcia. Najwyższe wartości maksymalnych sił cięcia zarejestrowano w całym badanym zakresie dla próbek pietruszki. Średnio maksymalne siły cięcia dla pietruszki są ok. 50% wyższe w stosunku do wartości uzyskanych dla buraka ćwikłowego i selera. W przypadku buraka ćwikłowego i selera różnice są niewielkie ale istotne statystycznie. Nato-

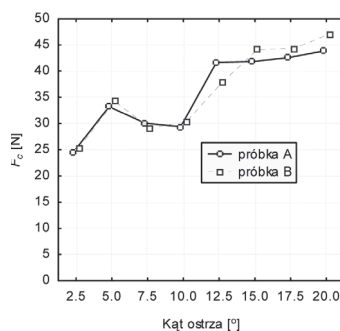
miast nie stwierdzono wpływu anizotropowości materiału na wartości analizowanych wielkości – brak istotnych różnic pomiędzy próbkami A i B.

Badania wykazały istotny wpływ kąta zaostrenia noża na wartości maksymalnej siły cięcia F_c i pracy cięcia W_c . W przypadku buraka ćwikłowego najniższe wartości maksymalnych sił cięcia otrzymano dla noża o kącie ostrza wynoszącym 2,5°, 7,5° i 10,0° i pomiędzy siłami F_c dla wymienionych wartości kąta ostrza brak jest istotnych statystycznie różnic, a najwyższą wartość dla kąta ostrza równego 20,0°. Analizując wykres (Rys. 3) wyraźnie widać minimum przy kącie ostrza 7,5° i 10° a następnie stały wzrost wartości maksymalnej siły cięcia do wartości 20°. Najwyższa zarejestrowana wartość siły jest przeszło dwa razy większa od wartości minimalnej.

W przypadku pietruszki najniższą wartość siły otrzymano dla noża o kącie wynoszącym 2,5°, następnie obserwuje się jej wzrost i spadek przy kącie ostrza 7,5° i 10,0° i następnie ponowny wzrost (Rys. 4). Wartość maksymalna siły cięcia F_c jest ok. 80% większa od wartości minimalnej.



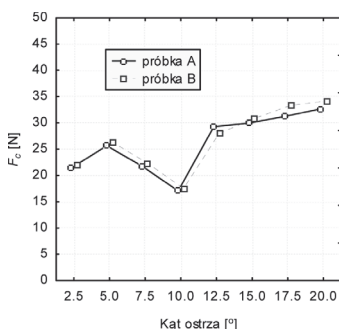
Rys. 3. Wpływ kąta ostrza na wartość maksymalnej siły cięcia dla próbek z buraka ćwikłowego [źródło własne]



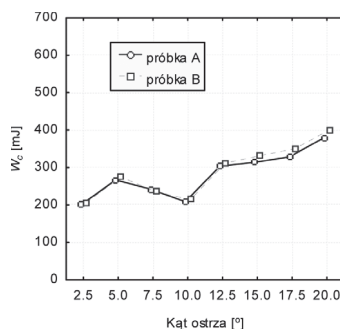
Rys. 4. Wpływ kąta ostrza na wartość maksymalnej siły cięcia dla próbek z pietruszki [źródło własne]

Przebieg zmian wartości siły F_c dla selera przedstawiono na wykresie na rys. 5. W tym przypadku najniższą wartość siły F_c zarejestrowano dla noża o kącie ostrza wynoszącym 10,0°. Średnia wartość maksymalna siły cięcia F_c jest ok. 90% większa od średniej wartości minimalnej.

Przebieg zmian pracy cięcia W_c w zależności od kąta ostrza dla buraka ćwikłowego przedstawiono na rys. 6. Z analizy wykresu wynika, że przy kącie ostrza wynoszącym 10° obserwuje się spadek pracy cięcia a następnie wzrost jej wartości. Podobny charakter zmian pracy cięcia zaobserwowano dla pietruszki (Rys. 7).

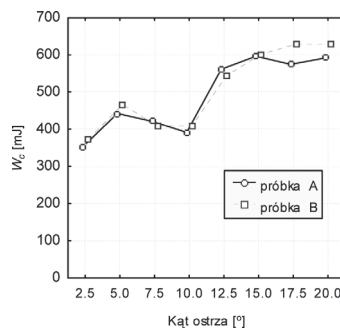


Rys. 5. Wpływ kąta ostrza na wartość maksymalnej siły cięcia dla próbek z selera [źródło własne]

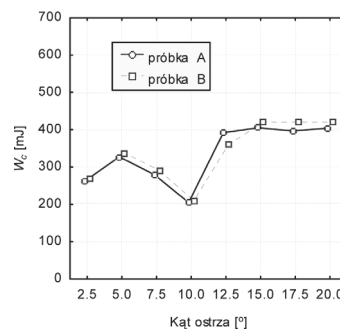


Rys. 6. Wpływ kąta ostrza na wartość pracy cięcia dla próbek z buraka ćwikłowego [źródło własne]

W tym przypadku otrzymano wyższe o ok 70% wartości średnie pracy cięcia. Zależność pracy cięcia W_c od kąta ostrza dla selera przedstawiono na rys. 8. Najniższą wartość pracy cięcia otrzymano dla noża o kącie ostrza 10°, następnie wartość pracy cięcia rośnie osiągając wartość ok. 200 mJ. Pomiedzy wartościami pracy cięcia dla noży o kącie ostrza 12,5°, 15,0°, 17,5° i 20° nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic.



Rys. 7. Wpływ kąta ostrza na wartość pracy cięcia dla próbek z pietruszki [źródło własne]



Rys. 8. Wpływ kąta ostrza na wartość pracy cięcia dla próbek z selera [źródło własne]

Przedstawiona metodyka pomiarów może być stosowana do kompleksowych badań cięcia materiałów o zróżnicowanej budowie morfologicznej. Właściwy dobór geometrii narzędzia tnącego pozwala znacznie obniżyć energochłonności procesu. Z analizy wyników badań wynika, że najniższą energochłonność procesu zaobserwowano w przypadku cięcia nożem o kącie zaostrenia wynoszącym 10°. Celowe jest podjęcie dalszych badań uwzględniających materiały o silnie zróżnicowanej strukturze.

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Cechy odmianowe badanych warzyw istotnie wpływają na wartość maksymalnej siły i pracy cięcia.
- W warunkach eksperymentu nie stwierdzono wpływu miejsca pobrania próbki na wartość maksymalnej siły i pracy cięcia.
- Maksymalna siła cięcia i praca cięcia istotnie zależą od wartości kąta ostrza narzędzia tnącego.
- W przypadku każdego z badanych gatunków warzyw najniższą wartość maksymalnej siły cięcia i pracy cięcia zarejestrowano dla noża o kącie ostrza wynoszącym 10°.
- Zaproponowana metodyka badań pozwala na charakterystykę warzyw pod względem określenia oporów cięcia.

LITERATURA

Baran D., Marks N., 2000. Opory cięcia jako miernik odporności bulw ziemniaka na uszkodzenia mechaniczne – opis stanowiska badawczego. *Inż. Roln.*, nr 7 (18), 23-27

Diakun J., Tesmer R., Owczarzak J., 1985. Wpływ współczynnika poślizgu ostrzy noży na warunki pracy kutrów i wilków do mięsa. *Przem. Spoż.*, nr 4, 129-131

Dutkiewicz D., Bil T., Dowgiało A., 2011. Wydajność technologiczna maszynowego odglawiania ryb w zależności od sposobu pomiaru parametrów sterowania i rodzaju cięcia. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z. 563, 67-74

Kowalski S., 1993. Badanie oporów cięcia wybranych roślin. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z. 408, 297-303

Marks N., Kowalski S., 1994. Opór cięcia jako miernik odporności bulw ziemniaka na mechaniczne uszkodzenia. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z. 416, 69-80

Matuszewski M., Styp-Rekowski M., 2009. Mikrocechy geometryczne elementów rozdrabniających. *Inż. Ap. Chem.*, 48, nr 2, 94-95

Nadulski R. 2001. Wpływ geometrii narzędzia tnącego na przebieg procesu cięcia wybranych warzyw korzeniowych. *Acta Agrophysica*, nr 58, 127-135

Popko H., Miszczyk M., 1989. Badanie oporów krajania niektórych produktów spożywczych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z. 354, 147-151

Ratajczak W. 1996. Analiza wpływu sfery pobierania próbek na wartość sił jednostkowych operacji cięcia warzyw. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z. 430, 37-42

Wang C.S., Kuo S.Z., Kuo-Huang L.L., Wu J.S.B., 2001. Effect of tissue infrastructure on electric conductance of vegetable stems. *J. Food Sci.*, 66, nr 2, 31-36. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2001.tb11333.x