



OCENA ZMIENNOŚCI MAKSYMALNEJ SIŁY TNĄCEJ W ZALEŻNOŚCI OD BUDOWY MIĄŻSZU KORZENIA BURAKA ĆWIKŁOWEGO

Elżbieta Kusińska*, Agnieszka Starek

Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

* Adres do korespondencji: ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin, e-mail: elzbieta.kusinska@up.lublin.pl

INFORMACJE O ARTYKULE

Historia artykułu:

Wpłynął: styczeń 2014

Zrecenzowany: luty 2014

Zaakceptowany: marzec 2014

Słowa kluczowe:

burak ćwikłowy

siła cięcia

kąt zaostrenia noża

przemieszczenie

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono metodykę oraz wyniki pomiaru badań procesu cięcia buraka ćwikłowego *Beta vulgaris L.* w warunkach laboratoryjnych, gdzie analizowano wartości maksymalnej siły cięcia tkanek korzenia buraka ćwikłowego pobranych z określonych warstw (warstwa górna, warstwa środkowa, dolna). Parametrami zmiennymi w doświadczeniu były: kąt zaostrenia noża ($2,5^\circ$; $7,5^\circ$; $12,5^\circ$ i $17,5^\circ$) oraz prędkość jego przemieszczania ($0,83 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, $1,66 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, $2,49 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, $4,15 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ i $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$). Uzyskane dane poddano analizie matematycznej korzystając z programu Excel i Statistica 6.0. Analiza statystyczna wyników wykazała istotną zależność wartości maksymalnej siły cięcia od zmian cech mechanicznych tkanek zależnie od miejsca pobrania próbek, kąta zaostrenia noża i jego przemieszczenia. Największą wartość siły uzyskano podczas cięcia nożem o kącie zaostrenia $\phi=17,5^\circ$, a najmniejszą podczas użycia noża o $\phi=2,5^\circ$. Wraz ze wzrostem prędkości przemieszczania noża siła cięcia malała. Najlepszą jakość przeciętych próbek otrzymano przy zastosowaniu prędkości wynoszących $2,49 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ i $4,15 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ nożami o kącie zaostrenia $2,5^\circ$ i $7,5^\circ$.

Wprowadzenie

Cięcie stosowane w przemyśle owocowo-warzywnym jest najczęściej wykorzystywane przy obróbce warzyw bądź owoców. Służy do wytworzenia takiego stanu naprężenia w żądanym miejscu, aby nastąpiło rozwarstwienie tkanek prowadzące do utraty lub naruszenia struktury obrabianej rośliny (Nadulski i in., 2013).

Proces cięcia jest jedną z metod rozdrabniania mającą na celu uzyskanie produktu o określonym wymiarze oraz kształcie. Podyktowane jest to względami organoleptycznymi, technologicznymi i użytkowymi. Większego stopnia rozdrobnienia wymagają warzywa przeznaczone na surówki bądź soki, mniejszego natomiast przeznaczone do obróbki termicznej (Sykut i in., 2005).

Czynnikami, które mają znaczący wpływ na przebieg procesu cięcia surowca są przede wszystkim jego właściwości wytrzymałościowe ściśle związane z jego budową, pokrojem rośliny oraz indywidualnymi cechami odmiany, miejscem pobierania mięszu oraz warunkami uprawy (Bohdziewicz i Czachor, 2010; Ślaska-Grzywina, 2008).

Natomiast drugą grupą czynników są parametry kinematyczno-dynamiczne. Badania procesu cięcia są przeprowadzane w szczególności pod kątem doskonalenia konstrukcji zespołów tnących, analizy parametrów ostrza oraz ich roli w procesie cięcia. Konstrukcja urządzenia do rozdrabniania musi być przystosowana do charakterystycznych właściwości i wymiarów surowca (Kowalik i in., 2013).

Jednym z warzyw powszechnie spożywanych w Polsce jest burak ćwikłowy (*Beta vulgaris* L.). Charakteryzuje się on wysoką zawartością witamin, soli mineralnych (Ca, P, Mg, Fe), białka, cukrów oraz związków biologicznie czynnych, które mają duże znaczenie w odżywianiu człowieka. Rocznie spożycie tego warzywa wynosi od 12 do 14 kg na jednego mieszkańca (Kazimierczak i in., 2011; Rekowska i Jurga-Szlemko, 2011).

Popularność tego surowca determinuje prosta, niewymagająca wysokich nakładów finansowych uprawa, niewielkie wymagania klimatyczne i glebowe, a także możliwość długiego przechowywania, co pozwala na konsumpcję świeżego surowca niemal przez cały rok. Powszechność uprawy wynika również z możliwości jego przetwarzania. Korzenie buraka ćwikłowego wykorzystuje się w przemyśle do produkcji soków, mrożonek, zup, ćwikły czy naturalnych barwników spożywczych (Czapski i in., 2011).

W produkcji podczas różnych procesów technologicznych (w trakcie zbioru, przechowywania i przetwarzania) mogą nastąpić przemiany powodujące obniżenie wartości i jakości warzywa (Kidoń i Czapki, 2007). Dlatego tak wiele uwagi poświęca się badaniom struktury korzenia buraka ćwikłowego. Dodatkowo odpowiednio dobrany sposób cięcia może zapewnić wysoką jakość produktu końcowego (Kusińska i Starek, 2012).

Cel i zakres badań

Celem pracy było zbadanie wpływu miejsca pobrania tkanki mięszu korzenia na siłę cięcia buraka ćwikłowego. Parametrami zmiennymi w badaniach były: kąt zaostrenia noża i prędkość jego przemieszczenia.

Zakres pracy obejmował wstępne przygotowanie surowca, wycięcie tkanek z bulw buraka ćwikłowego w trzech miejscach, przeprowadzenie testu cięcia materiału oraz jego opis statystyczny.

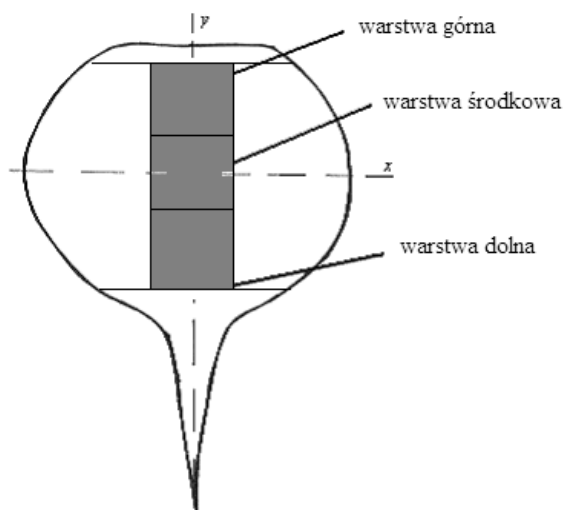
Metodyka badań

Średnia gęstość dla badanego surowca wynosiła $1061 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, a wilgotność 86,1%. Materiał badawczy stanowiły buraki ćwikłowe nowej odmiany Napoleon. Jest to odmiana wczesna. Posiada kulisty korzeń o gładkiej skórce, z połyskiem. Wnętrze korzenia ma zabarwienie ciemno czerwone, a pierścienie nie są widoczne w poprzecznym przekrojeniu korzenia.

Warzywa pochodziły z prywatnych upraw polowych woj. lubelskiego. Buraki uprawiano na glebie drugiej klasy. Nawożenie oraz zabiegi pielęgnacyjne i ochronne były przeprowadzane przy użyciu sprzętu mechanicznego. Dokonano zbioru ręcznego w fazie dojrzałości technologicznej. Zebrane warzywa poddano selekcji pod względem kształtu i rozmiarów, odrzucono egzemplarze o widocznych uszkodzeniach lub z objawami chorobowymi. Wybrano bulwy dorodne. Kształt buraków był zbliżony do okrągłego o średnim wymiarze $8 \pm 0,5$ cm.

Materiał do badań pobierano po upływie drugiego dnia od daty zbioru do dnia siódmego. Warzywa przechowywano w przewiewnym pomieszczeniu w temperaturze wynoszącej 4°C i wilgotności względnej powietrza 95%.

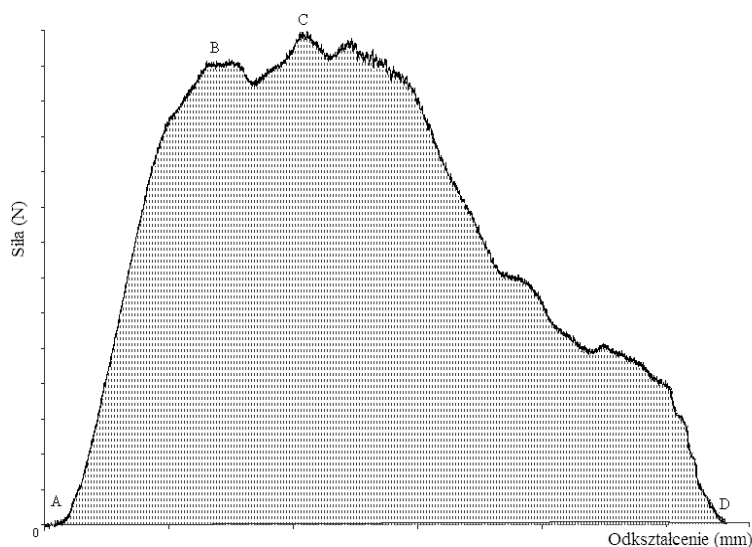
Tkanki mięszu wycinano wzdłuż osi y z warstwy: górnej (wg), środkowej (ws) i dolnej (wd). Miejsce wycinania materiału z korzeni pokazano schematycznie na rys. 1.



Rysunek 1. Miejsce wycinania materiału
Figure 1. Place of cutting of material

Z korzenia wzdłuż osi y wycinano prostopadłościan o wysokości 60 mm i boku podstawy 20 mm, który następnie dzielono na trzy sześciiany o boku 20 mm. Część wierzchołkową i korzonek odrzucano. Tak przygotowany materiał poddawano procesowi cięcia przy wykorzystaniu teksturometru TA.XT plus zachowując stałą orientację ostrza względem tkanki, która przecinana była w połowie. Kąt ustawienia noża względem osi pobranego materiału wynosił 0° . W badaniach użyto noży prostych o kącie zaostrenia: $2,5^{\circ}$; $7,5^{\circ}$; $12,5^{\circ}$; $17,5^{\circ}$. Noże miały następujące wymiary: długość 900 mm, szerokość 70 mm, grubość 3 mm. Tkanki mięszu buraka umieszczano na podstawie urządzenia wzdłuż osi y , a następnie obciążano elementem tnącym z prędkościami wynoszącymi: $0,83 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, $1,66 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, $2,49 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, $4,15 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ i $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Prędkości te dobrano z uwagi na możliwość obserwacji przebiegu deformacji materiału, naruszenia jego struktury podczas cięcia i wypływu soku z korzeni buraka.

W wyniku pomiaru otrzymywano wykresy przedstawiające zależność pomiędzy siłą cięcia i przemieszczeniem noża, z których wyznaczono maksymalną wartość siły cięcia (rys. 2). W obszarze A-B siła zwiększa się od zera do wartości, która powoduje ściśnięcie materiału przez nóż. W tym obszarze materiał jest zagęszczany. Jest to wartość progowa procesu cięcia. W punkcie C występuje maksymalna siła cięcia, która stopniowo maleje do 0 (punkt D), w którym kończy się proces.

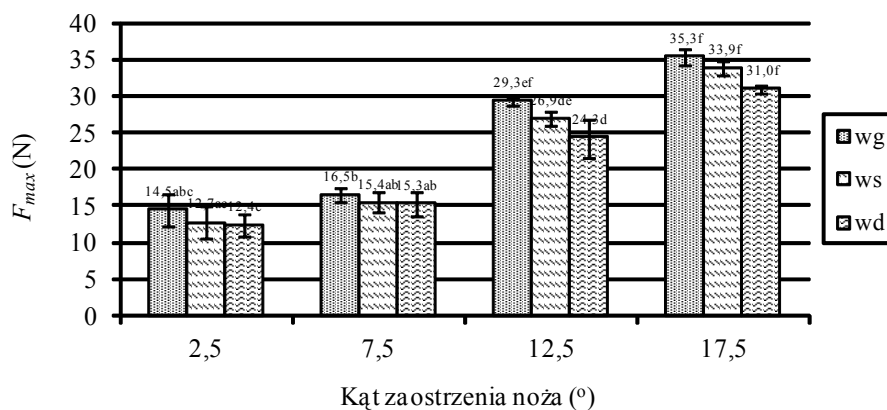


Rysunek 2. Przykładowa zależność siła-odkształcenie otrzymana podczas cięcia
Figure 2. Exemplary relation force-deformation obtained during cutting

Badania przeprowadzono w dziesięciu powtórzeniach (dla każdego noża, każdej prędkości i miejsca pobrania materiału). Wyniki badań poddano analizie regresji oraz analizie wariancji na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki badań i ich analiza

Wyniki pomiarów maksymalnej siły cięcia buraka ćwikłowego F_{max} przedstawiono na rys. 3-7. Różne litery podane przy wartościach średnich świadczą o występowaniu istotnych różnic.



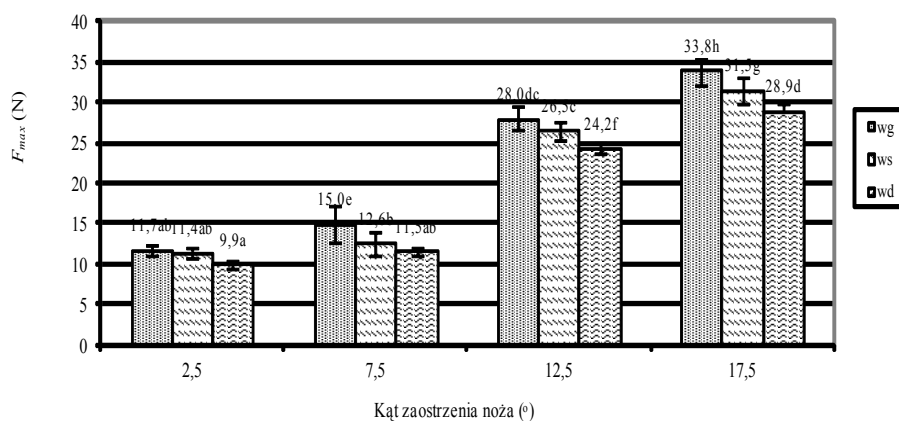
Rysunek 3. Maksymalna siła cięcia buraka ćwikłowego w zależności od miejsca pobrania próby i kąta zaostrenia noża przy prędkości przemieszczenia noża $0,83 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$
 Figure 3. Maximum cutting force of a beetroot in relation to the place of collecting samples and the angle of knife sharpening at the velocity of knife relocation of $0.83 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$

Na podstawie wyników w przeprowadzonym doświadczeniu cięcia tkanek korzenia buraka ćwikłowego z prędkością przemieszczenia noża wynoszącą $0,83 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ zaobserwowano, iż średnie wartości maksymalnej siły cięcia mieszczą się w przedziale liczbowym od 12,4 do 35,3 N. Największą średnią wartość siły cięcia osiągnięto przy kącie zaostrenia noża $\phi=17,5^\circ$ (dla warstwy górnej buraka ćwikłowego), natomiast najmniejsza średnia wartość siły cięcia przyporządkowana jest do kąta $\phi=2,5^\circ$ (dla warstwy dolnej badanego materiału). Występuje znaczny wzrost siły przy zmianie kąta zaostrenia noża od $\phi=7,5^\circ$ do $\phi=12,5^\circ$. Przykładowo dla materiału z warstwy górnej wartość maksymalnej siły cięcia wzrosła z 16,5 N do 29,3 N.

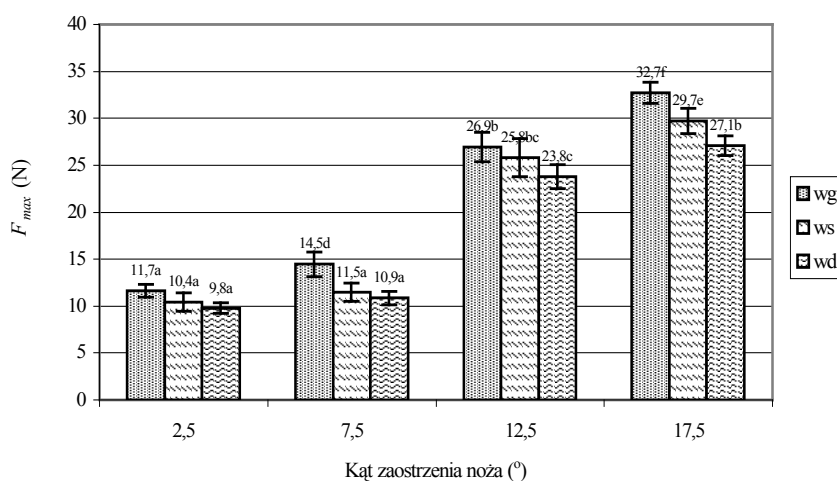
Na rysunku 4 przedstawiono zestawienie średnich wartości maksymalnych sił tnących uzyskanych przy prędkości noża $1,66 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Charakter zmian jest taki sam jak na rys. 3. W tym przypadku również wraz ze wzrostem kąta zaostrenia noża wzrasta maksymalna siła cięcia. Największa siła tnąca występuje dla noża o kącie zaostrenia $\phi=17,5^\circ$ dla tkanek pochodzących z warstwy górnej buraka ćwikłowego i wynosi 33,9 N, natomiast najmniejsza dla $\phi=2,5^\circ$ warstwy dolnej badanego korzenia – 9,9 N. Wraz ze wzrostem prędkości przemieszczania noża maksymalna siła cięcia maleje. Największą różnicę w wartościach sił podczas zmiany prędkości, zanotowano dla noża o kącie zaostrenia $\phi=7,5^\circ$ dla warstwy dolnej. Przy prędkości noża $0,83 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ wartość siły cięcia znajdowała się na poziomie 15,3 N, a po zwiększeniu prędkości wartość jej spadła do 11,5 N.

Dalsze zwiększanie prędkości przemieszczania noża powodowało spadek maksymalnej siły cięcia. Średnie wartości siły cięcia badanego materiału biologicznego mieszczą się

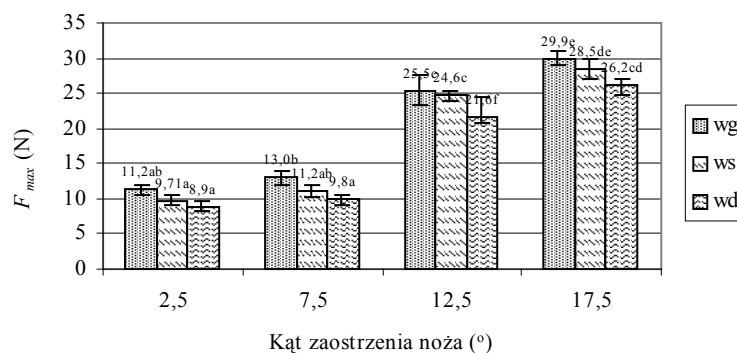
w przedziale liczbowym od 9,8 N do 32,7 N. Do przecięcia materiału największej siły wymagają tkanki pochodzące z warstwy górnej surowca, a najmniejszej z warstwy dolnej. Dla surowca przecinanego nożem o kącie zaostrenia $\phi=7,5^\circ$ siła cięcia materiału z warstwy górnej wynosi 14,5 N, z warstwy środkowej 11,5 N, a z warstwy dolnej 10,9 N.



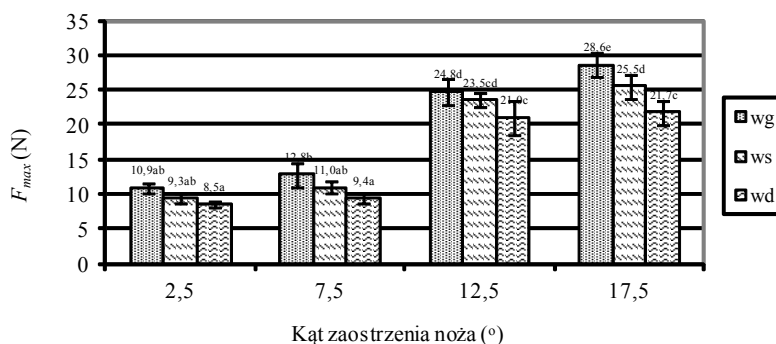
Rysunek 4. Maksymalna siła cięcia buraka ćwikłowego w zależności od miejsca pobrania próby i kąta zaostrenia noża przy prędkości przemieszczania noża $1,66 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$
 Figure 4. Maximum cutting force of a beetroot in relation to the place of collecting samples and the angle of knife sharpening at the velocity of knife relocation of $1.66 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$



Rysunek 5. Maksymalna siła cięcia buraka ćwikłowego w zależności od miejsca pobrania próby i kąta zaostrenia noża przy prędkości przemieszczania noża $2,49 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$
 Figure 5. Maximum cutting force of a beetroot in relation to the place of collecting samples and the angle of knife sharpening at the velocity of knife relocation of $2.49 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$



Rysunek 6. Maksymalna siła cięcia buraka ćwikłowego w zależności od miejsca pobrania próby i kąta zaostrenia noża przy prędkości przemieszczenia noża $4,15 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$
 Figure 6. Maximum cutting force of a beetroot in relation to the place of collecting samples and the angle of knife sharpening at the velocity of knife relocation of $4.15 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$



Rysunek 7. Maksymalna siła cięcia buraka ćwikłowego w zależności od miejsca pobrania próby i kąta zaostrenia noża przy prędkości przemieszczenia noża $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$
 Figure 7. Maximum cutting force of a beetroot in relation to the place of collecting samples and the angle of knife sharpening at the velocity of knife relocation of $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$

Stwierdzono, że najniższe wartości sił cięcia wystąpiły, kiedy zadana prędkość przemieszczenia noża wynosiła $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Dla kąta zaostrenia noża $\phi=2,5^\circ$ wartość siły cięcia dla tkanek z warstwy górnej wynosiła 10,9 N, z warstwy środkowej 9,3 i z warstwy dolnej 8,6 N, w porównaniu z wynikami przy prędkości $0,83 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ jest odpowiednio niższa o 3,6 N, 3,4 N oraz 3,9 N. Z rysunku 7 wynika, że największą wartość siły użyto do przecięcia tkanek z górnej warstwy korzenia za pomocą noża o kącie zaostrenia $\phi=17,5^\circ$ (28,6 N).

Podczas badań zwrócono uwagę na pogorszenie jakości ciętego materiału wraz ze wzrostem kąta zaostrenia noża i spadkiem prędkości przemieszczania noża.

Zbadane zależności opisano za pomocą równań regresji:

$$F_{wg} = 22,794 + 12,767\phi - 1,91 \ln v - 0,296\phi^2 - 42,527 \ln \phi \quad (1)$$

$$R^2 = 0,991, \alpha \leq 0,05$$

$$F_{ws} = 23,397 + 14,59\phi - 1,969 \ln v - 0,347\phi^2 - 49,143 \ln \phi \quad (2)$$

$$R^2 = 0,988, \alpha \leq 0,05$$

$$F_{wd} = 21,464 + 12,74\phi - 2,222 \ln v - 0,302\phi^2 - 42,91 \ln \phi \quad (3)$$

$$R^2 = 0,978, \alpha \leq 0,05$$

gdzie:

F_{wg}, F_{ws}, F_{wd} – maksymalna siła cięcia odpowiednio warstwy górnej, środkowej i dolnej (N),

ϕ – kąt zaostrenia noża, ($^{\circ}$)

v – prędkość przemieszczenia noża, ($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)

R^2 – współczynnik determinacji,

α – poziom istotności różnic.

Analiza wariancji wykazała, że na wartość maksymalnej siły cięcia korzenia buraka ćwikłowego istotny wpływ wywiera miejsce pobrania próby, kąt zaostrenia noża i jego prędkość przemieszczania.

Spostrzeżenia dokonane podczas obserwacji w czasie cięcia surowca można ująć następująco: dla prędkości testu cięcia wynoszących $0,83 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz $1,66 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ wartości maksymalnej siły cięcia są najwyższe. Próbki po przecięciu mają gładką powierzchnię, jednak niskie prędkości powodują znaczne naprężenia na powierzchni materiału podczas zagłębiania się ostrza noża, co wywołuje duże deformacje surowca i wypływ soku.

Dla prędkości wynoszącej $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ wartości sił cięcia są najniższe, jednak nie ma to korzystnego odniesienia do jakości surowca końcowego. Podczas testu następuje pęknięcie próbki, a nie cięcie. Kawałki buraka ćwikłowego mają nieciągłą strukturę oraz nierównomierną grubość odciętej części, co powoduje straty w materiale i obniża jakość.

Planując badania laboratoryjne kolejnych surowców należy skupić się na zadawaniu prędkości wynoszących $2,49 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ i $4,15 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Przy obu zadanych prędkościach próbki przecinane są jednokrotnie, a powierzchnia cięcia jest w miarę jednolita. W tych przypadkach odcinane fragmenty buraka ćwikłowego mają ściśle określoną strukturę, regularny kształt i pożądaną postać bez uszkodzeń.

Otrzymane odchylenia standardowe od wartości średnich sił cięcia, świadczą o znacznej heterogenności badanego surowca. Wynikają one prawdopodobnie z niejednorodnej wewnętrznej struktury buraka ćwikłowego.

Wnioski

1. Miejsce pobrania tkanki ma istotny wpływ na wartość maksymalnej siły cięcia buraka ćwikłowego. Największe siły cięcia uzyskano dla tkanek z warstwy górnej, a najmniejsze dla materiału z warstwy dolnej. Jest to związane z niejednorodną strukturą miąższu buraka i różnymi cechami mechanicznymi.
2. Zależność maksymalnej siły cięcia od kąta zaostrenia noża wykazała, że im większy kąt zaostrenia noża, tym większa siła cięcia miąższu. Największą siłę uzyskano przy cięciu nożem o kącie zaostrenia $\phi=17,5^\circ$, a najmniejszą przy kącie $\phi=2,5^\circ$.
3. Prędkość cięcia w przebadanym zakresie od $0,83 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ do $10 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ wpływa istotnie na siłę cięcia buraka ćwikłowego. Wraz ze wzrostem prędkości przemieszczenia noża maksymalna siła cięcia maleje.
4. Najlepszą jakość przeciętych próbek otrzymano przy zastosowaniu prędkości wynoszących $2,49 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ i $4,15 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ nożami o kącie zaostrenia $2,5^\circ$ i $7,5^\circ$.

Literatura

- Bohdziewicz, J.; Czachor, G. (2010). Wpływ obciążenia na przebieg odkształcenia warzyw o kształcie kulistym. *Inżynieria Rolnicza*, 1(119), 85-91.
- Czapki, J.; Gościńska, K.; Kidoń, M.; Cegiłka, A.; Rawicki, T. (2011). Sok z buraka ćwikłowego. Wpływ masy i części korzenia buraka na wyróżniki soku. *Przemysł Spożywczy*, 11(65), 50-52.
- Kazmierczak, R.; Hallmann, E.; Treščinska, V.; Rembiałkowska, E. (2011). Estimation of the nutritive value of two red beet (*beta vulgaris*) varieties from organic and conventional cultivation. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 3(56), 206-210.
- Kidoń, M.; Czapki, J. (2007). Wpływ obróbki termicznej na zawartość barwników betalainowych i zdolność przeciwutleniającą buraka ćwikłowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1(50), 124-131.
- Kowalik, K.; Sykut, B.; Opielak, M. (2013). Sposób zmniejszania energochłonności procesu cięcia wybranych produktów spożywczych. *Inżynieria Rolnicza*, 1(141), 105-114.
- Kusińska, E.; Starek, A. (2012). Effect of knife wedge angle on the force and work of cutting peppers. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 12(1), 127-130.
- Nadulski, R.; Zawiślak, K.; Panasiewicz, M.; Skwarz, J.; Starek, A. (2013). Charakterystyka oporów cięcia wybranych materiałów roślinnych o zróżnicowanej budowie morfologicznej. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 52(3), 208-209.
- Rekowska, E.; Jurga-Szlemko, B. (2011). Content of mineral components in roots of selected cultivars of beetroot. *Journal of Elementology*, 16(2), 255-260.
- Sykut, B.; Kowalik, K.; Opielak, M. (2005). Badanie wpływu kątów ostrza i przystawienia na opory krojenia produktów spożywczych. *Inżynieria Rolnicza*, 9(69), 339-344.
- Ślaska-Grzywna, B. (2008). Wpływ parametrów obróbki cieplnej selera na siłę cięcia. *Inżynieria Rolnicza*, 6(104), 175-180.

ASSESSMENT OF VARIABILITY OF THE MAXIMUM CUTTING FORCE DEPENDING ON THE STRUCTURE OF THE BEETROOT PULP

Abstract. The paper presents methodology and results of the measurement of the research on the process of cutting a beetroot *Beta vulgaris* L in laboratory conditions, where values of the maximum cutting force of beetroot tissues collected from specific layers (upper layer, central layer, lower layer) were analysed. Variable parameters in the experiment were: angle of knife sharpening (2.5°; 7.5°; 12.5° and 17.5°) and velocity of its relocation (0.83 mm·s⁻¹, 1.66 mm·s⁻¹, 2.49 mm·s⁻¹, 4.15 mm·s⁻¹ and 10 mm·s⁻¹). The obtained data were subject to mathematical analysis with the use of Excel and Statistica 6.0 software. Statistical analysis of results proved significant dependence of the value of the maximum cutting force on the changes of mechanical properties of tissues in relation to the place of collecting samples, angle of knife sharpening and its relocation. The highest value of force was obtained during cutting with a knife of the sharpening angle $\phi=17.5^\circ$ and the lowest during the use of a knife with $\phi=2.5^\circ$. Along with the increase of the velocity of knife relocation, the cutting force decreased. The best quality of samples was obtained with the use of the velocity which was 2.49 mm·s⁻¹ and 4.15 mm·s⁻¹ with knives with a cutting angle 2.5° and 7.5°.

Key word: beetroot, cutting force, sharpening angle of a knife, relocation