

Krzysztof Gołacki, Paweł Kołodziej  
Katedra Podstaw Techniki  
Akademia Rolnicza w Lublinie

## OCENA WPLYWU WYBRANYCH CECH GEOMETRYCZNYCH KORZENIA NA WARTOŚCI SIŁ ODDZIAŁYWANIA W UKŁADZIE NARZĘDZIE–BURAK–GLEBA

### Streszczenie

Badania eksperymentalne wykonano przy użyciu specjalnych stanowisk do pomiaru siły reakcji korzenia podczas wyorywania oraz siły potrzebnej do wyciągnięcia korzenia z gleby. Stwierdzono korelacje pomiędzy siłą wyciągania korzeni a cechami korzenia jak: długość maksymalna buraka oraz masa buraka wraz z przywierającą do powierzchni warstwą gleby. Istotny wpływ miały także zmienne pośrednie: długość korzenia w glebie, współczynnik kształtu oraz wierzchołkowy kąt stożka korzenia. Stwierdzono także zależność pomiędzy poziomą siłą reakcji korzenia a masą buraka po oczyszczeniu z przywierającej warstwy gleby.

**Słowa kluczowe:** korzeń buraka cukrowego, cechy geometryczne, siła oddziaływania, wyorywanie

### Wprowadzenie

Uszkodzenia powierzchni roślin będące efektem oddziaływania mechanicznego narzędzi są jedną z bezpośrednich przyczyn obniżenia plonu. Jednocześnie decydują one o wielkości strat surowca roślinnego powstających podczas kolejnych operacji technologicznych. Odnosi się to również do uprawy i przetwórstwa buraków cukrowych [Bzowska-Bakalarz i in. 1997].

Obecność tzw. „punktów krytycznych”, w których dochodzi do największej liczby uszkodzeń wynika z pewnych niedoskonałości konstrukcji maszyn, a także ze sposobu oddziaływania mechanicznego narzędzi. Jednym z istotnych „punktów krytycznych” podczas zbioru buraków jest proces wyorywania z zastosowaniem wyorywaczy wibracyjnych.

Zaproponowany przez Dykstrę [1996] podział procesu wyorywania na tzw. funkcje częściowe, pozwala na wyodrębnienie poszczególnych obciążeń mechanicznych oddziałujących na korzenie buraków w glebie. Wiąże się z tym konieczność odpowiedniego planowania eksperymentów oraz wyznaczania siły pionowej i poziomej jako składowych siły reakcji korzenia podczas wyorywania.

Wykorzystując powyższy podział zaprojektowano i wykonano dwa stanowiska badawcze do rejestracji przebiegów w czasie sił działających na korzeń buraka z prędkością zawierającą się w zakresie prędkości lemiesza wyorywacza wibracyjnego.

Uzyskane w eksperymentach maksymalne wartości sił reakcji korzenia uzależniono od cech geometrycznych i masy buraków, a wzajemne relacje pomiędzy wymienionymi wielkościami poddano analizie statystycznej.

### Założenia metodyczne

Do opisu relacji pomiędzy maksymalnymi wartościami siły reakcji buraka a podstawowymi i pośrednimi cechami korzeni, przyjęto funkcję regresji liniowej z wyrazem wolnym wyrażoną za pomocą równania [Rao 1982]:

$$M = \alpha + \beta_1 x_1 \quad (1)$$

gdzie:

- $\alpha$  – wyraz wolny,
- $\beta_1$  – współczynnik regresji,
- $x_1$  – niezależna zmienna losowa (objaśniająca).

Zmienne objaśniające stanowiły zmierzone podczas badań, geometryczne i masowe cechy korzeni, których zestawienia przedstawiono w tabelach 1 oraz 2.

*Tabela 1. Zestawienie oznaczeń podstawowych cech morfologicznych korzeni zastosowanych do budowy modeli regresji*

*Table 1. List of designations of basic sugar beet root morphological features applied in regression models*

$D_{MAX}$	Maksymalna średnica korzenia [mm]
$D_G$	Średnica korzenia na poziomie gleby [mm]
$H_W$	Wysokość wystawiania główki buraka ponad poziom gleby [mm]
$L_{MAX}$	Maksymalna długość korzenia [mm]
$M_{ZG}$	Masa korzenia wraz z przywierającą warstwą gleby [g]
$M_{BG}$	Masa korzenia bez przywierającej warstwy gleby [g]

Tabela 2. Zestawienie oznaczeń zmiennych pośrednich  
 Table 2. List of designations indirectly variables

$L_G$	$L_{MAX} - H_W$	Długość korzenia w glebie [mm]
$GAMMA$	$\gamma = \arctg\left(\frac{L_{MAX} - H_W}{2D_G}\right)$	Wierzchołkowy kąt stożka korzenia [°]
$L_G \cdot D_G^{-1}$	$(L_{MAX} - H_W)D_G^{-1}$	Współczynnik kształtu korzenia

Modele regresji utworzone z wykorzystaniem powyższych zmiennych towarzyszących zaimplementowano w programie STATISTICA. Analizy statystyczne przeprowadzono standardową metodą najmniejszych kwadratów, odrzucając obserwacje odstające. Dokładność dopasowania modelu do obserwacji oceniano na podstawie wartości współczynnika determinacji ( $R^2$ ).

## Wyniki badań eksperymentalnych i ich analiza

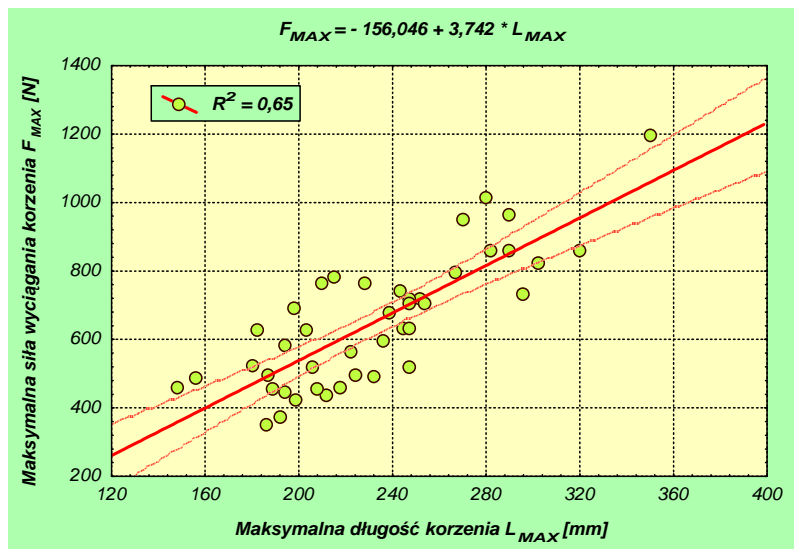
### Wyniki badań siły wyciągania korzeni

Eksperymenty przeprowadzono z wykorzystaniem stanowiska zbudowanego z: trójnożu, siłownika elektrycznego o prędkości liniowej tłoczyska  $0,23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , przetwornika analogowo – cyfrowego SPIDER 8 oraz układu do rejestracji wyników.

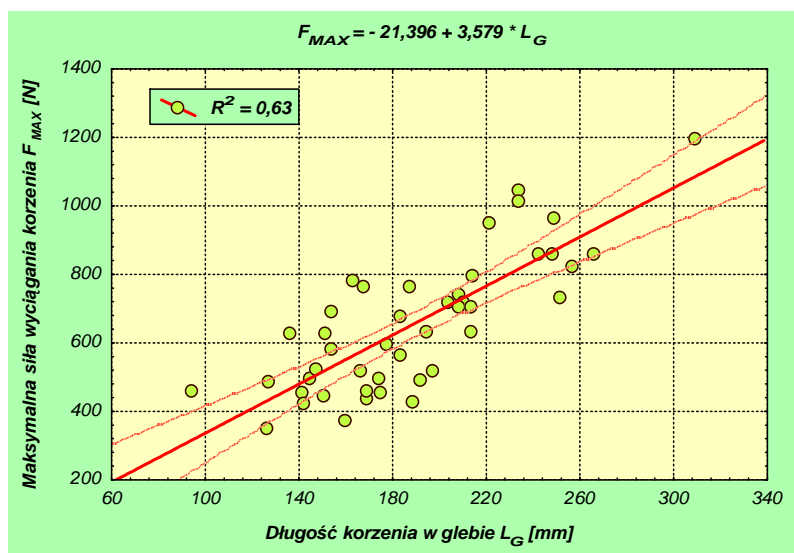
Wyniki analiz modeli regresji opisujących zależność maksymalnej siły wyciągania buraków od wybranych, geometrycznych i masowych cech korzeni przedstawiono na rysunkach 1–3.

Oceną objęto dziewięć zależności zawierających podstawowe i pośrednie zmienne niezależne zdefiniowane w tabeli 1 oraz 2. Wyznaczone wartości współczynnika determinacji ( $R^2$ ) przy bliskich zeru krytycznych poziomach istotności ( $p$ ) potwierdzają korelację pomiędzy maksymalną wartością siły wyciągania korzenia a długością maksymalną buraka ( $R^2_{LMAX} = 0,65$ ) oraz masą korzenia z przywierającą warstwą gleby ( $R^2_{MZG} = 0,31$ ).

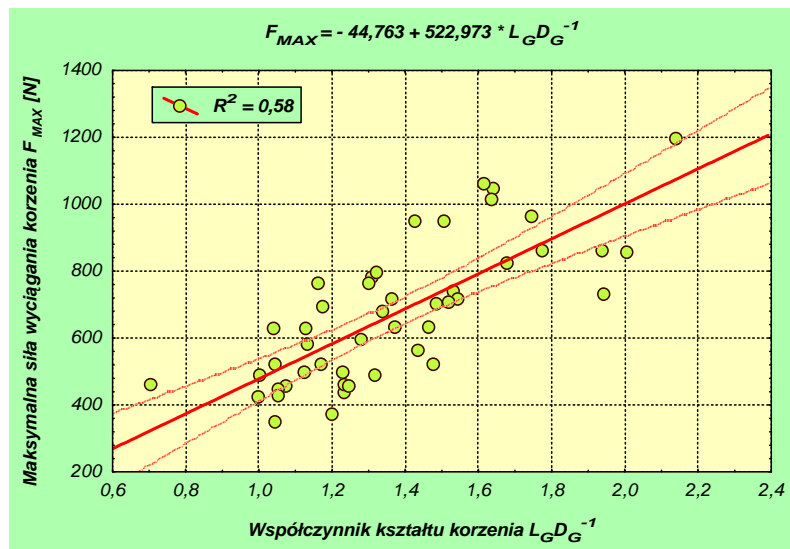
Niskie poziomy istotności uzyskano również dla średnicy korzenia na poziomie gruntu ( $p = 0,004$ ) oraz masy korzenia po oczyszczeniu z przywierającej warstwy gleby ( $p = 0,004$ ), jednak przy niewielkich wartościach współczynnika korelacji w kwadracie ( $R^2_{DG} = 0,16$  oraz  $R^2_{MBG} = 0,15$ ).



Rys. 1. Zależność maksymalnej siły wyciągania od długości korzenia  
Fig. 1. Dependence of maximal lifting force on the length of the root



Rys. 2. Zależność maksymalnej siły wyciągania od długości korzenia w glebie  
Fig. 2. Dependence of maximal lifting force on the sugar beet root length in soil



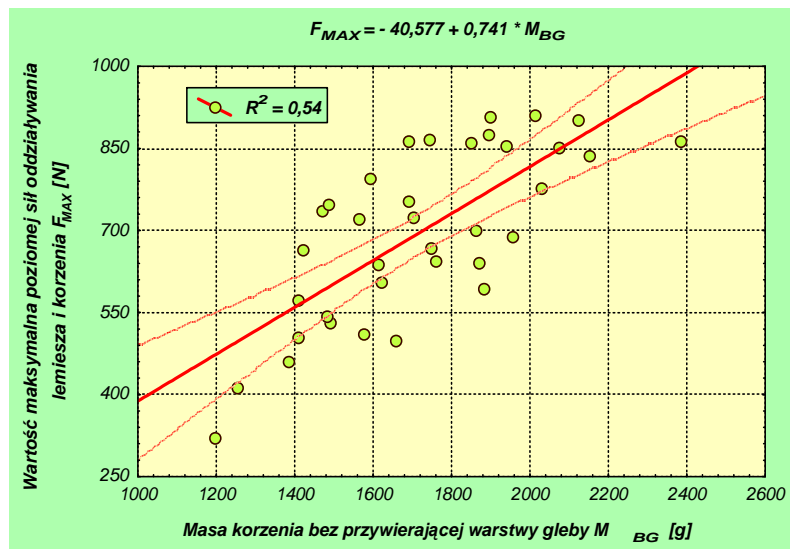
Rys. 3. Zależność maksymalnej siły wyciągania od współczynnika kształtu korzenia  
 Fig. 3. Dependence of maximal lifting force on the sugar beet root shape factor

Porównanie wartości statystyki testowej F–Snedecora z odczytanymi z tablic, wartościami krytycznymi pozwoliło na odrzucenie hipotezy o wartości zerowej współczynników regresji ( $b_1$ ) w modelach uwzględniających zmienne w sposób istotny wpływające na wartość siły wyciągania korzeni. Rysunki 2, 3, przedstawiają zależność maksymalnej siły wyciągania korzeni od zmiennych pomocniczych, dla których współczynniki determinacji przyjmują wartości:  $R^2_{LG} = 0,63$  oraz  $R^2_{LG/DG} = 0,58$  przy zerowych krytycznych poziomach istotności.

### Wyniki badań poziomej siły interakcji lemiesza i korzenia buraka

Do badań zastosowano stanowisko o konstrukcji ramowej o poziomym usytuowaniu siłownika elektrycznego, połączonego z uchylną głowicą pomiarową. Do zbierania i rejestracji wyników wykorzystano układ złożony z przetwornika analogowo-cyfrowego SPIDER 8 oraz komputera przenośnego.

Na rysunku 4 przedstawiono zależność poziomej siły oddziaływania narzędzia i buraka od masy korzenia po oczyszczeniu z przywierającej warstwy gleby ( $M_{BG}$ ). Współczynnik korelacji w kwadracie osiągnął wartość  $R^2_{MZG} = 0,54$  przy zerowym krytycznym poziomie istotności ( $p$ ).



Rys. 4. Zależność maksymalnej poziomej siły oddziaływania narzędzia i buraka od masy korzenia bez przywierającej do powierzchni warstwy gleby

Fig. 4. Dependence of maximal horizontal interaction force of share and beet root on mass beet root without soil sticking to the root

Wyniki badań siły wyciągania korzeni buraków z zastosowaniem urządzenia z napędem ręcznym. Istotność wpływu geometrycznych i masowych cech korzeni na siłę wyciągania buraków w badaniach z zastosowaniem urządzenia ręcznego wg metody podanej przez Bzowską-Bakalarz [1987], została potwierdzona tylko dla maksymalnej długości korzenia  $R^2_{LMAX} = 0,53$ .

Zmniejszone krytyczne poziomy istotności ( $p$ ) zaobserwowano dla: maksymalnej średnicy korzenia ( $p = 0,041$ ), średnicy buraka na poziomie gruntu ( $p = 0,034$ ) oraz dla masy korzenia z przywierającą warstwą gleby ( $p = 0,028$ ), jak również po oczyszczeniu ( $p = 0,040$ ). Jednak niskie wartości współczynnika korelacji w kwadracie ( $R^2_{DMAX} = 0,093$ ,  $R^2_{DG} = 0,10$ ,  $R^2_{MZG} = 0,104$ ,  $R^2_{MBG} = 0,09$ ) świadczą o braku wpływu tych wielkości na zmienną zależną.

Stwierdzono ponadto korelację pomiędzy maksymalną siłą wyciągania buraków oraz długością korzenia w glebie ( $R^2_{LG} = 0,55$ ) jak również wierzchołkowym kątem stożka buraka ( $R^2_{GAMMA} = 0,45$ ). Natomiast przeciętny wpływ na zmienną zależną ma iloraz  $L_G \cdot D_G^{-1}$ , dla którego współczynnik determinacji osiąga wartość  $R^2_{LG/DG} = 0,25$ .

## Podsumowanie i wnioski

Reasumując, należy stwierdzić że istotna korelacja wystąpiła pomiędzy siłą wyciągania a długością maksymalną korzenia ( $L_{MAX}$ ) oraz długością buraka w glebie ( $L_G$ ), dla których współczynnik determinacji osiągnął wartości  $R^2_{LMAX} = 0,65$  oraz  $R^2_{LG} = 0,63$ . Ponadto stwierdzono istotną zależność pomiędzy poziomą siłą oddziaływania narzędzia i korzenia a masą buraka po oczyszczeniu z przywierającej warstwy gleby ( $M_{BG}$ ). Współczynniki korelacji liniowej ( $R$ ) oraz determinacji ( $R^2$ ), osiągnęły wartości:  $R_{MBG} = 0,74$ ,  $R^2_{MBG} = 0,54$  przy zerowym poziomie  $p$ . Zaobserwowano brak korelacji pomiędzy siłą interakcji a pozostałymi wybranymi cechami morfologicznymi takimi jak: maksymalna średnica ( $R^2_{D_{MAX}} = 0,001$ ), długość korzenia ( $R^2_{LMAX} = 0,07$ ), średnica buraka na poziomie gleby ( $R^2_{DG} = 0,002$ ). Słabą korelację stwierdzono dla modeli zawierających wysokość wystawiania główki korzenia ponad powierzchnię gruntu ( $R^2_{HW} = 0,10$ ) oraz masę buraka wraz z przywierającą warstwą gleby ( $R^2_{MZG} = 0,11$ ). Nie stwierdzono również korelacji pomiędzy poziomą siłą reakcji korzenia a pośrednimi cechami morfologicznymi. Uzyskane wartości współczynnika determinacji modeli utworzonych z tych zmiennych objaśniających wynoszą dla: długości korzenia w glebie  $R^2_{LG} = 0,09$ , współczynnika kształtu korzenia  $R^2_{LD/DG} = 0,07$  oraz wierzchołkowego kąta stożka korzenia  $R^2_{GAMMA} = 0,07$ . Analiza modeli uwzględniających zależność siły wyciągania korzeni w badaniach przy użyciu urządzenia ręcznego wykazała wpływ długości maksymalnej buraka ( $L_{MAX}$ ) oraz długości korzenia w glebie ( $L_G$ ). Współczynnik determinacji osiągnął wartości odpowiednio:  $R^2_{LMAX} = 0,53$  oraz  $R^2_{LG} = 0,55$ . Wyniki przeprowadzonych analiz pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Średnia wartość siły potrzebnej do wyciągnięcia korzenia z gleby w przeprowadzonym eksperymencie z prędkością  $0,23 \text{ [ms}^{-1}\text{]}$  wynosiła  $699,5 \text{ [N]}$  przy odchyleniu standardowym  $228,5 \text{ [N]}$ , a w badaniach z zastosowaniem urządzenia z napędem ręcznym  $519,3 \text{ [N]}$ .
2. W obu typach eksperymentów, największy wpływ na maksymalną siłę wyciągania nie podkopanych buraków miała maksymalna długość korzenia ( $L_{MAX}$ ), dla której współczynnik korelacji w kwadracie osiągnął wartości odpowiednio:  $R^2 = 0,65$  oraz  $R^2 = 0,53$ .
3. Stwierdzono korelację pomiędzy maksymalną siłą wyciągania i zmiennymi pośrednimi: długością buraka w glebie ( $L_G$ ), współczynnikiem kształtu ( $L_G \cdot D_G^{-1}$ ), wierzchołkowym kątem stożka korzenia ( $GAMMA$ ) oraz masą buraka wraz z przywierającą do powierzchni warstwą gleby, dla których współczynniki determinacji wynoszą kolejno:  $R^2_{LG} = 0,63$ ,  $R^2_{LG/DG} = 0,58$ ,  $R^2_{GAMMA} = 0,58$ ,  $R^2_{MZG} = 0,31$ .
4. Średnia wartość siły oddziaływania lemiesza i korzenia w glebie w warunkach przeprowadzonego eksperymentu wynosiła  $713,1 \text{ [N]}$  przy odchyleniu standardowym  $180,4 \text{ [N]}$ .

5. Stwierdzono istotną korelację pomiędzy siłą wzajemnego oddziaływania narzędzia i buraka a masą korzenia po oczyszczeniu z przywierającej warstwy gleby ( $M_{BG}$ ), przy współczynniku determinacji  $R^2_{MBG} = 0,54$ .
6. Nie zaobserwowano korelacji pomiędzy poziomą siłą oddziaływania narzędzia i buraka a: maksymalną średnicą, maksymalną długością korzenia jak również średnicą buraka na poziomie gleby.

### **Bibliografia**

Bzowska-Bakalarz M., Przybył J., Drabko H. 1997. Wpływ technologii zbioru buraków cukrowych na uszkodzenia korzeni. Inżynieria Rolnicza. 1. s. 99-106.

Bzowska-Bakalarz M. 1987. Badania niektórych właściwości fizycznych korzeni buraków cukrowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. z. 316. s. 9-24.

Dykstra M. 1996. Entwicklung und Untersuchungen von Rodewerkzeugen für Zuckerrübenerntemaschinen. Dissertation A. Technische Universität Dresden. Fakultät Maschinenwesen.

Rao Radhakrishna C. 1982. Modele liniowe statystyki matematycznej. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.

## **EVALUATION OF THE INFLUENCE OF SUGAR BEET ROOT GEOMETRICAL FEATURES ON THE INTERACTING FORCE IN SHARE-BEET ROOT-SOIL SYSTEM**

### **Summary**

Special stands were used to carry out experiments of measuring a reaction force of a root while pulling it out of the soil. Investigations proved the correlation between the pulling-out-force and the following features of the root: maximum length, mass together with layer of the soil sticking to the root. The pulling – out – force is also significantly influenced by the root length in the soil, shape coefficient and the apex angle of the root cone. Horizontal reaction force of the root depends on the sugar beet mass after clearing the root of the soil.

**Key words:** sugar beet root, geometrical feature, interaction force, lifting process