

## PRÓBA ZASTOSOWANIA METODY NIENISZCZĄCEJ DO BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH KORZENI BURAKÓW CUKROWYCH

*Józef Gorzelany, Czesław Puchalski*

Zakład Mechanizacji Rolnictwa, Uniwersytet Rzeszowski  
ul. Ćwiklińskiej 2, 35-601 Rzeszów  
e-mail: gorzelan@univ.rzeszow.pl

**Streszczenie.** Praca zawiera wyniki badań odporności korzeni buraków cukrowych na uszkodzenia mechaniczne. Przeanalizowano związek pomiędzy siłą przebicia skórki korzenia (metoda statycznego obciążania) a wybranymi parametrami, mierzonymi metodą nieniszczącą. Do badań nieniszczących wykorzystano stanowisko pomiarowe wyposażone w czujnik piezoelektryczny w postaci stempla o średnicy 11 mm. Badania przeprowadzono dla dwóch odmian buraków cukrowych w okresie zbioru i składowania.

**Słowa kluczowe:** burak cukrowy, uszkodzenia mechaniczne, metoda nieniszcząca

### WSTĘP

Poznanie właściwości mechanicznych korzeni buraków cukrowych odgrywa znaczącą rolę przy pracach hodowlanych oraz projektowaniu nowoczesnych maszyn. Znajomość tych właściwości często prowadzi do optymalizacji zbioru, składowania i przeróbki surowca w ten sposób aby zminimalizować jego straty. W warunkach polowych, do oceny uszkodzeń korzeni buraków cukrowych w zależności od prędkości roboczej maszyny, zastosowano elektroniczny model korzenia [2,6]. Elektroniczny burak jest bardzo przydatnym narzędziem pomiarowym, pozwalającym ocenić wpływ elementów i zespołów roboczych maszyn na uszkodzenia mechaniczne. Do określania właściwości mechanicznych korzeni buraków cukrowych najczęściej wykorzystywane są klasyczne metody badań wytrzymałościowych [3,4,8,10]. Większość prowadzonych badań polegała na wywołaniu sztucznego uszkodzenia mechanicznego za pomocą specjalnych urządzeń pomiarowych [5,9,10]. W ostatnich latach wielu autorów coraz częściej przedstawia nieniszczące metody badań różnych materiałów roślinnych. Do pomiaru

wewnętrznej struktury owoców i jarzyn Abbot [1] wykorzystywała energię akustyczną, określając amplitudowy współczynnik strat, moduł Younga i współczynnik sztywności tkanki jabłek. Podobnie Finney [7], na podstawie krzywej rezonansu akustycznego określał sztywność tkanki jabłek, porównując z wynikami uzyskanymi w warunkach niszczących odkształceń. Dla korzeni marchwi została zastosowana metoda identyfikacji uszkodzeń mechanicznych [12] na podstawie odbicia promieniowania elektromagnetycznego w paśmie widzialnym i podczerwieni. Również Haugh [11] przedstawił ultradźwiękową metodę wykrywania jam rdzeniowych opartą na przebiegu fali akustycznej. Badania te pozwoliły na stwierdzenie innego charakteru przebiegu fali akustycznej przez bulwę prawidłową niż przez bulwę z pustymi przestrzeniami. W badaniach własności mechanicznych korzeni buraków cukrowych wykorzystano również metodę ultradźwiękową, polegającą na pomiarze czasu przejścia podłużnej fali ultradźwiękowej przez próbkę [13]. Porównano średnie wartości modułów mierzonych w warunkach odkształceń statycznych i przy pomocy fal ultradźwiękowych.

Z punktu widzenia procesu technologicznego najważniejsze właściwości mechaniczne korzenia buraka to twardość i sprężystość [5,14]. Cechy te zależą w dużym stopniu od turgoru tkanki.

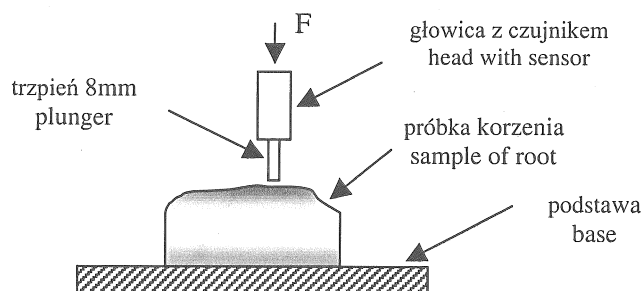
Celem badań było wykorzystanie metody udarowej do pomiaru wybranych parametrów korzeni pod kątem określenia sprężystości tkanki buraków cukrowych w czasie zbioru oraz ich składowania. Podjęto próbę znalezienia zależności między określonymi parametrami wyznaczonymi metodą niszczącą i nieniszczącą.

#### MATERIAŁ I METODY

Obiektem badań były korzenie dwóch odmian buraka cukrowego, Lolita i Kawejana pobrane z poletek doświadczalnych Zakładu Doświadczalnego Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Ożańsku, woj. podkarpackie.

Buraki uprawiane były przy rozstawie międzyrzędzi 45 cm i gęstości siewu w rzędzie 18 cm, na glebie II i III klasy bonitacyjnej. Kilka dni przed zbiorem dokonano obserwacji plantacji i wykonano pomiary cech geometrycznych korzeni buraków. Z każdej odmiany pobrano po 30 sztuk zdrowych korzeni średniej wielkości o cechach charakterystycznych dla danej odmiany. Korzenie zostały wykopane ręcznie i ogłowione nożem, a następnie dokładnie umyte. Próbkę korzeni złożono w warunkach zbliżonych do naturalnych w miejscu chroniącym je przed bezpośrednim działaniem warunków atmosferycznych. Korzenie zostały rozłożone równomiernie na podłożu i były składowane w tym miejscu od momentu zbioru – 5.10.2000 r. aż do zakończenia opisanej serii badań – 5.12.2000 r.

Pomiary odporności na uszkodzenia mechaniczne w warunkach obciążeń statycznych wykonano na mikrozywarce ZWICK 1425. Schemat ideowy pomiaru przedstawia rysunek 1. W procesie obciążania trzpieniem walcowym o średnicy 8 mm, skórka oraz tkanka korzenia ulegały odkształceniom aż do momentu przebicia.



Rys. 1. Schemat ideowy obciążania próbki korzenia stemplem  
Fig. 1. Schematic diagram of sample loading of roots tested by plunger

Rejestrowano siłę powodującą przebicie oraz odkształcenie próbki korzenia. Dla każdej odmiany średnio co 10 dni przeprowadzano pomiary w dwóch strefach korzenia (część górna – poniżej główki korzenia, część dolna – poniżej części środkowej korzenia). Pomiary wykonano na próbkach korzeni ze skórą oraz bez skórki usuniętej przez ścięcie jednym pociągnięciem na tarce jednołożowej.

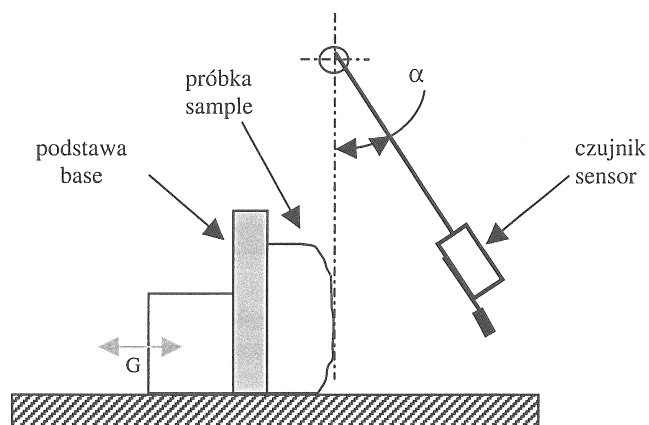
Do badań właściwości korzeni buraków metodą nieniszczącą wykorzystano czujnik w postaci stempla o średnicy 11 mm (rys. 2). Pomiary wykonano przy stałej energii uderzenia, wynoszącej 104,5 mJ. Na podstawie zarejestrowanego wykresu odczytywano następujące wielkości:

- maksymalną siłę, N;
- siłę przy pierwszym załamaniu, N;
- czas przy sile maksymalnej, ms;
- czas trwania impulsu, ms.

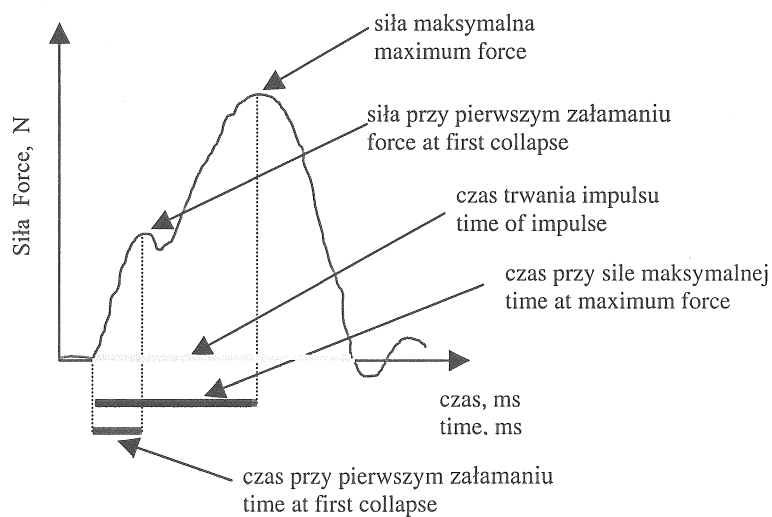
Pomiar wykonywano mocując próbkę korzenia (wyciętą z części górnej lub dolnej korzenia) w zespole przytrzymującym i ustalając jego położenie poprzez opuszczenie wahadełka do pozycji zetknięcia się stempla z powierzchnią badanego materiału. Po odchyleniu ramienia wahadła o stałą wartość kąta mierzonego na podziałce utrzymywano tę pozycję za pomocą elektromagnesu. Po jego wyłączeniu następowało uwolnienie ramienia wahadła i uderzenie stempla w powierzchnię próbki korzenia.

Pomiar siły uderzenia rejestrowany był w czasie 100 ms przez komputer. Do analizy wyników wykorzystano program komputerowy COACH.

Pomiar zawartości wody w korzeniach w poszczególnych terminach pomiarów określono metodą suszarkową. Wycinano z każdej próbki cienkie plastry tkanki korzenia o masie około 30 g i suszono w temperaturze 70°C.



Rys. 2. Schemat ideowy pomiaru siły  $F$  czujnikiem piezoelektrycznym  
Fig. 2. Schematic diagram for force measurement  $F$  with piezoelectric sensor



Rys. 3. Wykres zależności pomiędzy siłą a czasem  
Fig. 3. A typical chart of impact force versus time

## WYNIKI BADAŃ

Podczas badań polowych na poletkach, z których pobrano próbki zdrowych korzeni, dokonano obserwacji plantacji i wykonano pomiary cech geometrycznych korzeni oraz obliczono obsadę i plon teoretyczny. Do pomiarów laboratoryjnych pobierane były korzenie średniej wielkości o średnicy około 12 cm i długości w granicach 17-19 cm. Masa korzeni zawierała się w przedziale 1200-1350 g.

Odnotowano większą obsadę roślin dla odmiany Lolita (88750 szt. $\cdot$ ha<sup>-1</sup>) niż dla odmiany Kawejana (86580 szt. $\cdot$ ha<sup>-1</sup>).

Od momentu zbioru buraków cukrowych (I termin badań) do ostatniego pomiaru, wykonano kontrolę wilgotności korzeni. Wyniki pomiarów przedstawia tabela 1. Z przeprowadzonych badań wynika, że wilgotność korzeni buraków cukrowych sukcesywnie malała podczas ich składowania. Badane odmiany nieznacznie różniły się wilgotnością korzeni.

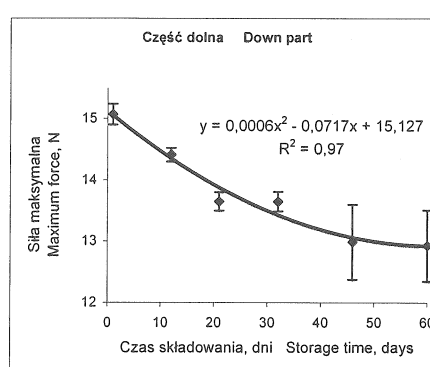
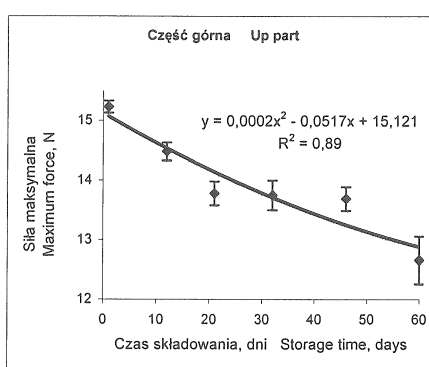
**Tabela 1.** Wilgotność korzeni buraków cukrowych bezpośrednio po zbiorze i w czasie składowania  
**Table 1.** Moisture content in samples of sugar beet roots directly after harvest and storage

Odmiana Variety	Wilgotność korzeni buraków cukrowych Moisture content in sugar beet roots (%)						Średnia Average
	Po zbiorze After harvest	Terminy pomiaru Date of measurements					
	5.X.	17.X.	26.X.	7.XI.	21.XI	5.XII.	
Lolita	77,49	72,82	71,11	66,95	65,37	62,71	69,40
Kawejana	77,41	72,05	68,85	66,63	66,31	63,10	69,06

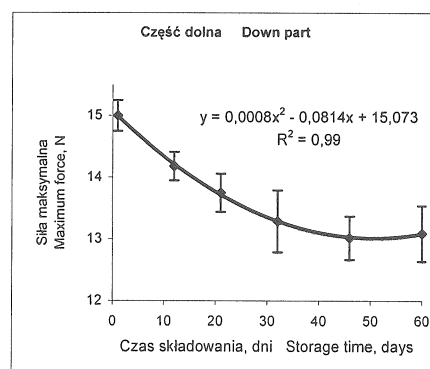
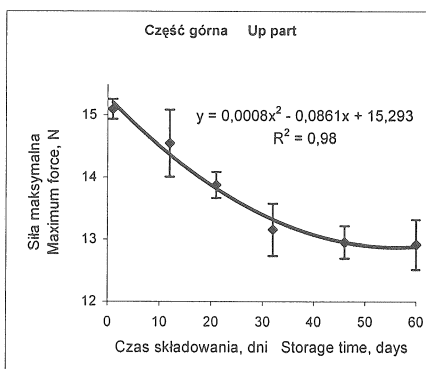
Właściwości mechaniczne korzeni buraków od momentu zbioru do ich przeróbki były zróżnicowane i zależały szczególnie od czasu i warunków ich składowania. Stwierdzono, że czas składowania korzeni buraków istotnie wpływał na mierzoną wartość siły maksymalnej  $F_{max}$  (rys. 4). Dla badanych odmian i stref korzenia (dolnej i górnej) zanotowano spadek wartości siły. Zależności siły maksymalnej  $F_{max}$  od czasu składowania opisano wielomianem drugiego stopnia. Funkcja ta w ścisły sposób odwzorowuje wpływ czasu składowania, o czym świadczą wysokie współczynniki determinacji  $R^2$  dla górnej i dolnej strefy korzenia obydwu badanych odmian. Stwierdzono również, że czas składowania korzeni miał znaczący wpływ na

czas odpowiadający sile maksymalnej  $F_{max}$  (rys. 5). Współczynniki determinacji dla badanej zależności opisanej wielomianem drugiego stopnia mieściły się w zakresie od  $R^2 = 0,53$  (strefa dolna korzenia odmiana Lolita) do  $R^2 = 0,75$  (strefa górna korzenia odmiana Kawejana).

#### Odmiana Kawejana Variety Kawejana



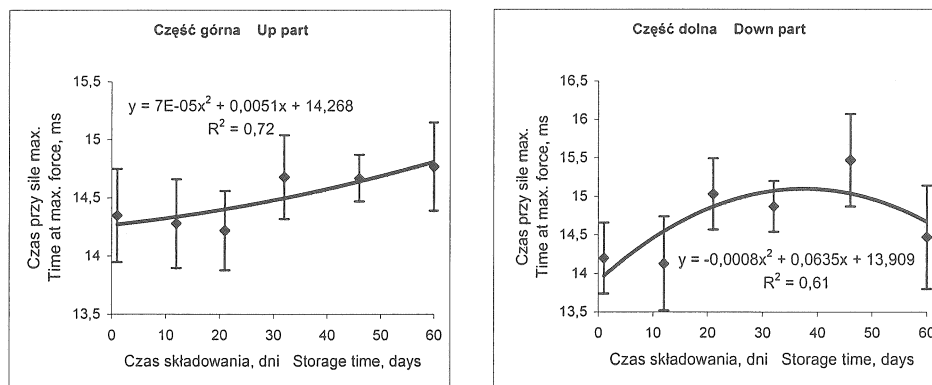
#### Odmiana Lolita Variety Lolita



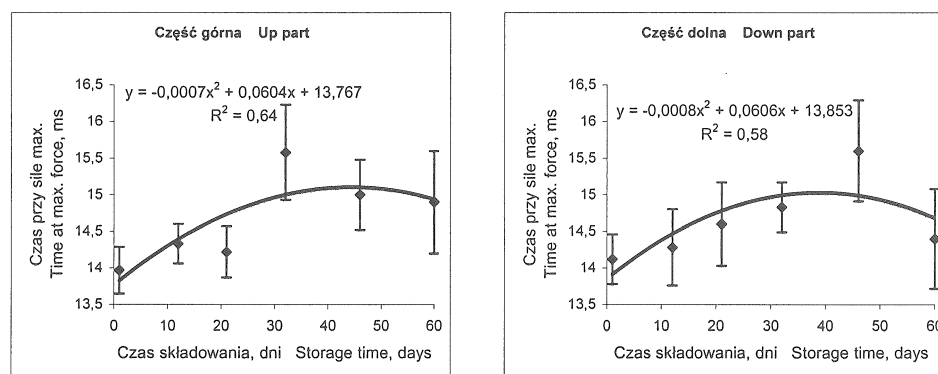
Rys. 4. Wpływ czasu składowania korzeni buraków cukrowych, odmiany, strefy korzenia poddanej działaniu siły uderzenia na średnią wartość siły maksymalnej

Fig. 4. Effect of storage time of sugar beet roots, variety and measurement zone of root on average value maximum force

Odmiana Kawejana  
Variety Kawejana



Odmiana Lolita  
Variety Lolita

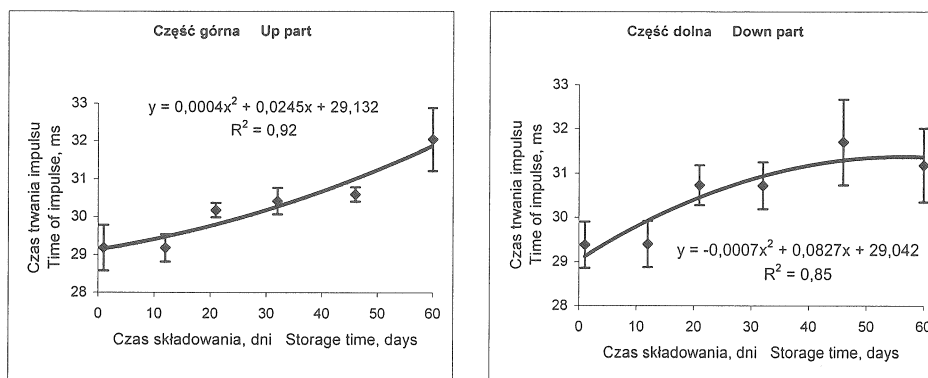


**Rys. 5.** Wpływ czasu składowania buraków cukrowych, odmiany oraz strefy korzenia na wartość średnią czasu przy sile maksymalnej

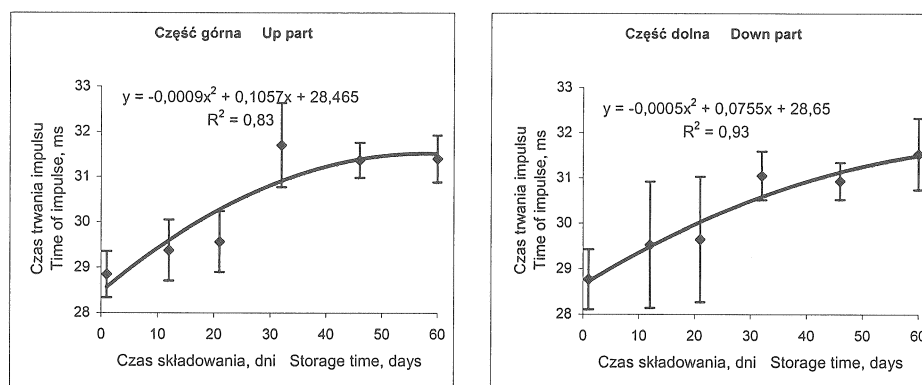
**Fig. 5.** Effect of storage time of sugar beet roots, variety and measurement zone of root on the average value of time relating to maximum force

Czas składowania korzeni miał wpływ na wartość czasu trwania impulsu (rys. 6) oraz na średnią wartość współczynnika nachylenia krzywej przy wartości siły w miejscu pierwszego jej załamania (tab. 2). Średnie wartości współczynnika nachylenia krzywej przy wartości siły w miejscu pierwszego jej załamania w pierwszych trzech terminach pomiarów miały tendencję malejącą.

### Odmiana Kawejana Variety Kawejana



### Odmiana Lolita Variety Lolita



**Rys. 6.** Wpływ czasu składowania odmiany oraz strefy korzenia na czas trwania impulsu  
**Fig. 6.** Effect of storage time, variety and zone of root on the time of impulse

W pozostałych terminach pomiarów nie stwierdzono istotnej zależności między czasem składowania a nachyleniem krzywej.

Równocześnie z terminami pomiarów metodą nieniszczącą na tych samych próbkach korzeni wykonano pomiary metodą niszczącą.

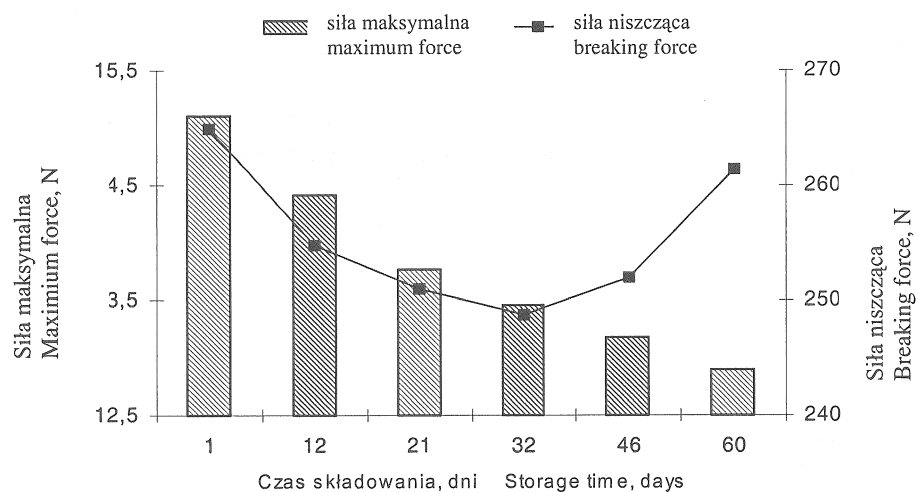
Wartość siły  $F$  przebiccia skórki oraz tkanki korzenia, odkształcenie  $L$ , zużycie energii  $P$  do momentu uszkodzenia były uzależnione od czasu składowania, odmiany i strefy pomiaru. Średnia wartość siły przebiccia dla korzeni



świeżych wynosiła 265 N, odkształcenie do momentu przebicia skórki było równe 3,82 mm, a zużycie energii 0,67 J. W czwartym terminie pomiaru po 32 dniach składowania odnotowano mniejszą odporność skórki oraz tkanki korzenia na siłę przebicia stempla. Średnie wartości siły niszczącej spadły poniżej 250 N i były najmniejsze w dolnej części korzenia.

**Tabela 2.** Średnie wartości współczynnika nachylenia krzywej – do pierwszego załamania ( $N \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ )  
**Table 2.** Average values of slope coefficients of curve – at first collapse ( $N m^{-1} s^{-1}$ )

Odmiana Variety	Strefa korzenia Root zone	Termin pomiaru Measurement date					
		5.X.	17.X.	26.X.	7.XI.	21.XI.	5.XII.
Kawejana	górna up	2,628	1,878	1,823	1,825	1,879	1,649
	dolna down	2,320	1,774	1,750	1,610	1,748	1,776
Lolita	górna up	2,154	1,903	1,765	1,698	1,694	1,729
	dolna down	2,146	1,930	1,712	1,743	1,775	1,619



**Rys. 7.** Średnie wartości siły przebicia skórki i tkanki korzenia stemplem o średnicy 8 mm (metoda niszcząca) oraz siły maksymalnej (określona metodą nieniszcząca) w zależności od czasu składowania korzeni dla dwóch badanych obiektów

**Fig. 7.** The average values the rupture forces of skin and tissue of root with 8 mm plunger (destructive method) and maximum force (determining non destructive method) versus storage time of roots for two tested objects

Na podstawie uzyskanych wyników (rys. 7) dla określonego terminu składowania korzeni (ok. 30 dni) stwierdzono zależność między badanymi cechami określanymi metodą nieniszczącą i niszczącą. Do tego okresu tj. 30 dni składowania zmniejszała się wartość siły przebiccia skórki, tkanki korzenia oraz wartość siły maksymalnej. W celu potwierdzenia zależności między badanymi parametrami określanymi metodą nieniszczącą i niszczącą należy wykonać poszerzone pomiary na większej liczbie próbek.

#### WNIOSKI

1. Stwierdzono istotny wpływ wilgotności korzeni buraka cukrowego (turgor tkanki) na siłę maksymalną, czas przy sile maksymalnej oraz czas trwania impulsu. Zmniejszenie wilgotności korzeni średnio z 77,4% do 69,2% spowodowało spadek wartości siły maksymalnej z 15,1 do 12,9 N, zwiększenie czasu przy sile maksymalnej z 13,7 do 15,5 ms i czasu trwania impulsu z 28,7 do 32,0 ms.

2. Średnie wartości współczynnika nachylenia krzywej, w miejscu pierwszego załamania w początkowych trzech terminach pomiaru, malały. Dla dalszych terminów pomiaru nie zarejestrowano wpływu czasu składowania na wartość współczynnika nachylenia krzywej.

3. Stwierdzono istotną zależność między wartością siły przebiccia skórki oraz tkanki korzenia (metoda niszcząca) a siłą maksymalną (metoda nieniszcząca) jedynie w pierwszym okresie 30-dniowego składowania buraków cukrowych.

#### PIŚMIENICTWO

1. **Abbott J.A., Bachman G.S.:** Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. Food Technology, vol. 22635, 101-112, 1968.
2. **Bentini M., Caprara C., Rondelli V., Caliceti M.:** The use of an electronic beat to evaluate sugar beet damage at various forward speeds of a mechanical harvester. Trans. ASAE, Vol. 45, 3, 547-552, 2002.
3. **Bzowska-Bakalarz M.:** Badanie właściwości mechanicznych korzeni buraków cukrowych – statyczna próba ściskania. Rocznik Nauk Rolniczych, t. 76-C-2, 33-45, 1986.
4. **Bzowska-Bakalarz M.:** Model reologiczny tkanki korzenia buraka cukrowego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z.408, 283-290, 1993.
5. **Bzowska-Bakalarz M.:** Właściwości mechaniczne korzeni buraków cukrowych. Rozprawa habilitacyjna. AR, Lublin, 1994.
6. **Fechner W., Büscher W.:** Elektronische Messröbe mit sechs Beschleunigungssensoren. Landtechnik, Jg.55, 1, 42-43, 2000.
7. **Finney E.E., Abbott J.A.:** Nondestructive jonic rezonanse and the texture of apples. Journal Amer. Soc. Hort., vol. 103, 158-162, 1998.

8. **Frontczak J.:** Zarys podstawowych zagadnień przy badaniu cech mechanicznych i reologicznych produktów rolniczych. Zeszyty naukowe AR we Wrocławiu, nr.156, 21-29, 1985.
9. **Gorzelany J., Puchalski C.:** Mechanical properties of sugar beet roots during harvest and storage. Int. Agrophysics, vol. 14(2), 173-179, 2000.
10. **Haman J.:** Badania fizycznych właściwości roślin i gleby a konstrukcja maszyn rolniczych. Postępy Nauk Rolniczych, 1, 71-77, 1985.
11. **Haugh C.G.:** Detecting hollow hearts in potatoes using non invasive acoustic techniques. Int. Agrophysics, vol. 8(3), 509-518, 1994.
12. **Howarth M.S., Searcy S.W., Birth G.S.:** Reflectance characteristics of fresh market carrots. Trans. ASAE, vol. 33(3), 961-964, 1990.
13. **Kuczyński A., Bzowska-Bakalarz M.:** Metoda badań właściwości mechanicznych korzeni buraków cukrowych przy pomocy fali ultradźwiękowej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z.351, 77-82, 1988.
14. **Ostrowska D., Wzorek M.:** Właściwości fizyczne korzeni buraka cukrowego. Gazeta Cukrownicza, 10, 218-221, 1980.

APPLICATION OF THE NONDESTRUCTIVE METHOD  
TO INVESTIGATIONS OF MECHANICAL PROPERTIES  
OF SUGAR BEET ROOTS

*Józef Gorzelany, Czesław Puchalski*

Mechanisation Department of Agriculture, University of Rzeszów  
ul. Ćwiklińskiej 2, 35-601 Rzeszów, Poland  
e-mail: gorzelan@univ.rzeszow.pl

**Abstract.** The article contains results of investigations of sugar beet roots resistance to mechanical damage. The force rupture of skin and root tissue using plunger (static loading) with some parameters measured by non destructive method with piezoelectric sensor and plunger of 11 mm diameter were analysed. The study for two sugar beet root varieties during harvest and storage period were conducted.

**Key words:** sugar beets, mechanical damage, non destructive method

