

## Badanie wybranych właściwości mechanicznych i chemicznych korzeni buraków cukrowych

### Streszczenie

Znajomość właściwości mechanicznych korzeni buraków cukrowych ma znaczący wpływ na ograniczanie strat w procesie zbioru i ich przerobu. Ich poznanie umożliwia prawidłowe skonstruowanie zespołów maszyn do zbioru oraz ich przetwarzania. Wyniki takich badań pozwalają na wprowadzenie do produkcji odmian buraków cukrowych odznaczających się najlepszymi właściwościami fizyko-chemicznymi (odporność na uszkodzenia mechaniczne, zawartość cukru, itp.). Celem pracy było określenie wybranych właściwości mechanicznych (odporność na uszkodzenia mechaniczne) i chemicznych (zawartość cukru, popiołu oraz związków melasotwórczych) dla 8 wybranych odmian buraka cukrowego. W warunkach laboratoryjnych przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej Zwick/ Roell Z010 wykonano pomiary i określono: siłę przebicia skórki i tkanki korzeni buraka, wartość siły niszczącej samą tkankę korzeni, odkształcenie do momentu zniszczenia tkanki wybranych odmian, naprężenie niszczące tkanki korzeni oraz współczynnik sprężystości.

**Słowa kluczowe:** buraki cukrowe, skład chemiczny, właściwości mechaniczne, plonowanie

## The study of selected mechanical and chemical properties of sugar beet roots

### Summary

Knowledge of the mechanical properties of sugar beet roots have a significant impact on the reduction of losses in the process of harvesting and processing. Their knowledge allows teams to construct the proper equipment to harvest and processing. The results of the research allow for the introduction to the production sugar beet varieties characterized by the best physico-chemical properties (resistance to mechanical damage, the sugar content, etc.). The aim of the study was to determine some mechanical properties (mechanical resistance) and chemical (sugar content, ash and molasses forming components) for 8 selected varieties of sugar beet. Under laboratory condition, using a machine Zwick / Roell Z010 determined: skin and tissue beet roots puncture force, the same destructive force root tissue, the deformation until the destruction of the tissue selected varieties, root tissue breaking strength and modulus of elasticity.

**Key words:** beet sugar, chemical composition, mechanical properties, yielding

### Wykaz oznaczeń:

$F_{max}$  - siła niszcząca [N],  
 $L_{max}$  - odkształcenie do momentu zniszczenia [mm],  
 $\sigma_n$  - naprężenie niszczące [MPa],

$E_u$  - współczynnik sprężystości [MPa],  
 $v$  - prędkość [ $m \cdot s^{-1}$ ],

### Wprowadzenie

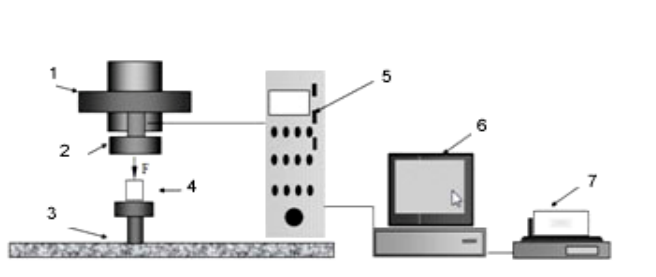
Burak cukrowy (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris*) jest jedyną rośliną w Polsce wykorzystywaną przez przemysł do produkcji cukru, wynika to przede wszystkim z warunków klimatycznych kraju (Kuc i Tendziagolska, 2011; Rajewski i in. 2012). Cechy jakościowe i plon uzyskiwanych korzeni buraków cukrowych uzależniony jest głównie od warunków glebowych, optymalnej uprawy roli, a także odpowiedniego nawożenia mineralnego i organicznego (Jabro i in., 2010; Rajewski i in., 2008). Ocena właściwości technologicznych korzeni buraków cukrowych dotyczy analiz składu chemicznego (m.in. zawartości cukru, związków melasotwórczych) oraz badań właściwości mechanicznych (badania statyczne i dynamiczne) (Byszewski i in., 1988; Chelemskij, 1993; Dobrzycki, 1984; Gorzelany i Sosnowski, 2003). Cechy mechaniczne korzeni buraków cukrowych uznawane są za cechy odmianowe, jednakże oddziaływanie czynników zewnętrznych takich jak choroby, szkodniki,

nawożenie mogą wpływać na zmianę właściwości mechanicznych (Bzowska-Bakalarz, 1995). Do podstawowych właściwości mechanicznych określanych w korzeniach buraków cukrowych należą: odporność na uszkodzenia, wytrzymałość mechaniczna, twardość, sprężystość oraz opór krojenia i inne (Meier, 1997). Do badań odporności korzeni na uszkodzenia stosować można różne metody używane w mechanice i wytrzymałości materiałów. Najczęściej wykorzystuje się statyczne jednoosiowe ściskanie próbek wolnych, które pozwala na określenie naprężenia niszczącego oraz granicy wytrzymałości biologicznej. Pomiary tego typu prowadzi się w laboratoriach przy wykorzystaniu uniwersalnych urządzeń pozwalających również na określenie wpływu różnych czynników na właściwości mechaniczne analizowanego surowca (Gorzelany i Sosnowski, 2003). Zainteresowanie właściwościami mechanicznymi korzeni buraków cukrowych wynika z konieczności ograniczania strat podczas zbioru, składowania oraz trans-

portu (Šařec i Šařec, 2008). Oddziaływanie na korzenie dużych obciążeń generowanych przez zespoły maszyn w procesie zbioru i transportu może powodować ich uszkodzenia mechaniczne. Uszkodzenia te wpływają na wzrost intensywności oddychania, zwiększenie podatności na porażenie mikroorganizmami, a w konsekwencji na straty cukru (Meier, 1997). Celem przeprowadzonych badań było określenie wybranych właściwości fizycznych (odporność na uszkodzenia mechaniczne) i chemicznych (zawartość cukru, popiołu oraz związków melasotwórczych) dla 8 wybranych odmian buraka cukrowego.

## Materiał i metodyka

Materiał badawczy stanowiły próbki świeżych korzeni 8 odmian buraków cukrowych. Próbki korzeni badanych odmian buraków cukrowych pochodziły z poletek doświadczalnych założonych w miejscowości Lubliniec Stary w województwie podkarpackim. Do badań laboratoryjnych pobrano po 7 korzeni średniej wielkości charakterystycznych dla każdej odmiany. Przed przystąpieniem do badań wszystkie korzenie zostały oczyszczone i umyte z resztek gleby. Pomiary odporności na uszkodzenia mechaniczne wykonano na maszynie wytrzymałościowej *Zwick/Roell* (rys.1.). Rejestracja wyników dokonana była automatycznie na drukarce współpracującej z maszyną.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego- maszyna wytrzymałościowa *Zwick/Roell*: 1 - ruchoma belka; 2 - głowica tensometryczna; 3 - podstawa; 4 - próbka; 5 - czytnik cyfrowy; 6 - komputer; 7 - drukarka

Fig. 1. Scheme of measurement stand- *Zwick/Roell* strength testing machine: 1 - moving beam; 2 - head strain gauge; 3 - base; 4 - sample; 5 - digital reader; 6 - computer; 7 - printer

Siłę przebicia skórki i tkanki korzeni badano przy użyciu stempla o średnicy 5 mm w górnej i środkowej części korzenia. Badania przeprowadzono dla ustalonych parametrów roboczych:

- siła wstępna naprężenia próbki  $F = 1\text{N}$ ;
- prędkość modułu podczas pomiaru przebicia  $0,5\text{ [mm}\cdot\text{s}^{-1}]$ .

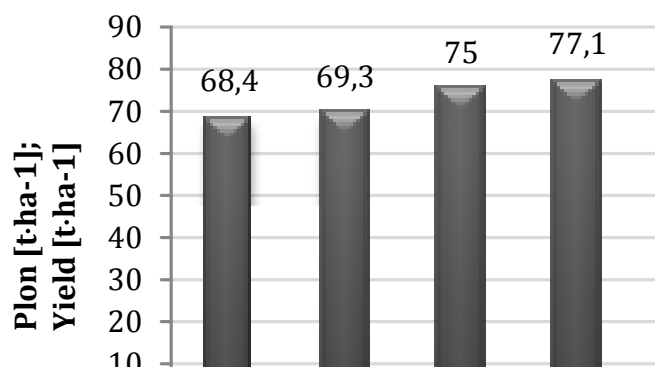
Badania odporności tkanki korzenia na uszkodzenia mechaniczne w procesie jednoosiowego ściskania tkanki przeprowadzono na próbkach w kształcie walca o wysokości i średnicy 20 mm. Walcowe próbki wycięte zostały wzdłuż osi i poprzecznie do osi korzenia buraka cukrowego w części wierzchołkowej i części środkowej korzenia. Proces jednoosiowego ściskania tkanki korzeni buraków cukrowych (próbka wolna) przeprowadzono dla ustalonych parametrów roboczych:

- siła wstępna naprężenia próbki  $F = 5\text{ N}$
- prędkość modułu podczas pomiaru ściskania  $0,5\text{ [mm}\cdot\text{s}^{-1}]$ .

Oznaczenia wilgotności i zawartości popiołu wykonano metodą termo- grawimetryczną w aparacie firmy LECO - TGA701. Badania kalorymetryczne przeprowadzone zostały na kalorymetrze LECO® AC500. Oznaczenia zawartości cukrów w korzeniach badanych odmian buraków cukrowych przeprowadzono metodą polarymetryczną, natomiast oznaczenia zawartości związków melasotwórczych dokonano za pomocą Spektrofotometru Absorpcji Atomowej.

## Wyniki

Plon ogólny korzeni badanych odmian buraków cukrowych z poletek doświadczalnych przedstawia rysunek 2. Największy plon korzeni buraków cukrowych odnotowano u odmiany Pasja, który wynosił  $84,3\text{ [t}\cdot\text{ha}^{-1}]$ , natomiast najmniejszy plon korzeni  $68,4\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  stwierdzono u odmiany Scout.



Rys. 2. Plon ogólny korzeni badanych odmian buraków cukrowych

Fig. 2. Total yield of the roots of sugar beet varieties studied

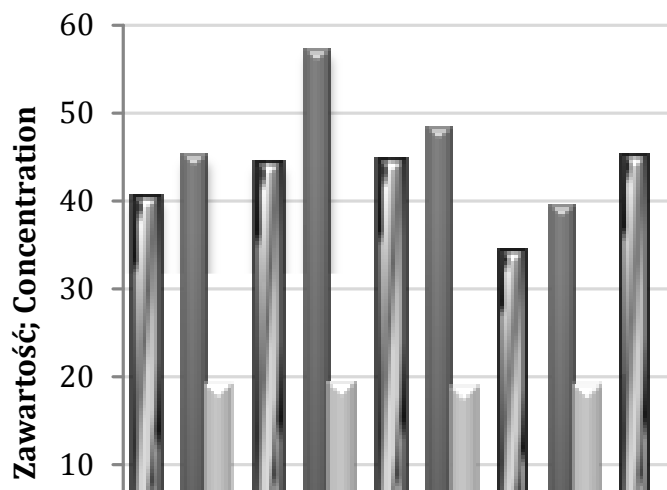
Zawartość cukru w korzeniach badanych odmian buraków cukrowych była wysoka i wynosiła od 18,2-18,9%. Zawartość K wahała się w granicach od 33,8-44,9  $[\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}]$ , największą zawartość tego związku stwierdzono u odmiany Jonas, a najmniejszą u odmiany Schubert, u której stwierdzono również najmniejszą zawartość związków azotowych. Średnia zawartość związków N wynosiła od 39,4 do 57,1  $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$  najwięcej u odmiany Britannia. Najmniejszą zawartością sodu odznaczała się odmiana Scout-0,40  $[\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}]$ , a największą odmiana Balena-0,65  $[\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}]$ . Zawartość cukru oraz wybranych związków w korzeniach badanych odmian buraków cukrowych przedstawia rysunek 3.

Tabela 1. Procentowa zawartość wody, popiołu oraz wartość energetyczna korzeni badanych odmian buraków cukrowych

Table 1. The percentage of water, ash and energy value of the roots of the tested varieties of sugar beet

Odmiana; Variety	Zawartość wody; Contents of water [%]	Zawartość popiołu; Contents of ash [%]	Wartość energetyczna; Caloric value [MJ·kg <sup>-1</sup> ]
Pasja	71,0	0,39	16,32
Britannia	70,9	0,43	14,90
Belana	71,6	0,51	16,28
Scout	73,3	0,55	15,92
Schubert	72,3	0,49	14,09
Konrad	74,1	0,67	16,92
Luzon	73,7	0,79	16,24
Jonas	73,7	0,61	16,13
Średnia; Average	72,57	0,56	15,85

Zawartość wody w badanych próbkach świeżych korzeni buraków cukrowych była zróżnicowana i wynosiła od 70,9 do 74,1%. Procentowa zawartość popiołu wynosiła od 0,39 do 0,79%. Najmniejszą kalorycznością odznaczała się odmiana Schubert, największą zaś odmiana Konrad. Procentową zawartość wody, popiołu oraz kaloryczność przedstawia tabela 1.



Rys. 3. Zawartość cukru, potasu, azotu oraz sodu w korzeniach badanych odmian buraków cukrowych

Fig. 3. The content of sugar, potassium, nitrogen and sodium in the analyzed roots of sugar beet varieties

Najmniejszą odpornością na uszkodzenia mechaniczne skórki i tkanki w procesie ich przebicia stemplem odznaczały się odmiany Luzon, Jonas oraz Konrad, wartości te były w zakresie  $F_{max}$  od 103,5 N do 110,8 N i naprężenie niszczące  $\sigma_n$  odpowiednio od 2,06 MPa do 2,21 MPa.

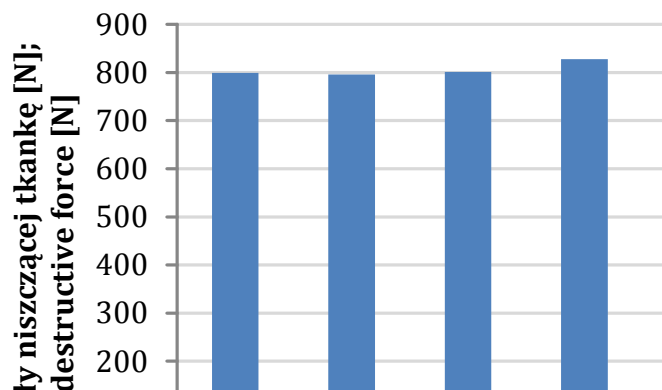
Największą odporność na przebicie stwierdzono u odmiany Pasja i Scout, odpowiednio 120,4 N i 118,4 N i naprężenie niszczące  $\sigma_n$  od 2,36 MPa u odmiany Scout do 2,4 MPa u odmiany Pasja. Średnie wartości mierzonych parametrów w procesie przebicia skórki i tkanki korzeni badanych odmian buraków cukrowych przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Średnie wartości siły niszczącej  $F_{max}$  [N], odkształcenia do momentu zniszczenia  $L_{max}$  [mm] oraz naprężenia niszczącego  $\sigma_n$  [MPa] w procesie przebicia skórki i tkanki korzeni buraków cukrowych.

Table 2. Average values of penetration force  $F_{max}$  [N], strain directly before the moment of sample destruction  $L_{max}$  [mm] and the destruction stress  $\sigma_n$  [MPa] in the process of penetration of peel and tissue of the root sugar beet

Odmiana; Variety	$F_{max}$ [N]	$L_{max}$ [mm]	$\sigma_n$ [MPa]
Pasja	120,4	3,7	2,40
Britannia	116,5	3,0	2,32
Belana	116,1	3,5	2,31
Scout	118,4	3,8	2,36
Schubert	114,9	3,2	2,29
Konrad	110,8	2,9	2,21
Luzon	103,5	3,1	2,06
Jonas	110,8	3,2	2,21
Średnia; Average	113,93	3,3	2,27

Wartość siły niszczącej tkankę  $F$  [N] w procesie jednoosiowego ściskania próbek wolnych dla badanych odmian buraków cukrowych przedstawia rysunek 4. Największą średnią wartość siły niszczącej tkankę stwierdzono u odmiany Schubert- 827,6 N, najmniejszą natomiast u odmiany Konrad-653,1 N. Odnotowano ścisłą zależność wartości siły niszczącej od odkształcenia.



Rys. 4. Wartość siły niszczącej tkankę  $F$  [N] dla badanych odmian buraków cukrowych.

Fig. 4. Values of destruction force for tissue  $F$  [N] in the analyzed roots of sugar beet varieties.

Tabela 3. Średnie wartości naprężenia niszczącego  $\sigma_n$  [MPa], odkształcenia do momentu zniszczenia  $L_{max}$  [mm] oraz współczynnik sprężystości  $E_u$  [MPa] w statycznej próbie ściskania świeżej tkanki badanych odmian korzeni buraków cukrowych.

Table 3. Average values breaking strength [MPa], strain directly before the moment of sample destruction  $L_{max}$  [mm] and Young modulus [MPa] in static compression test fresh tissue in the analyzed roots of sugar beet varieties.

Odmiana; Variety	$\sigma_n$ [MPa]		$L_{max}$ [mm]		$E_u$ [MPa]	
	Przekrój Poprzeczny; Section transverse	Przekrój Podłużny; Section longitudinal	Przekrój Poprzeczny; Section transverse	Przekrój Podłużny; Section longitudinal	Przekrój Poprzeczny; Section transverse	Przekrój Podłużny; Section longitudinal
Pasja	2,59	2,53	0,29	0,27	8,53	8,93
Britannia	2,5	2,27	0,30	0,25	8,10	8,68
Belana	2,47	2,63	0,29	0,27	8,10	9,48
Scout	2,53	2,23	0,31	0,27	7,82	7,92
Schubert	2,89	2,38	0,34	0,26	8,10	8,58
Konrad	2,18	1,98	0,26	0,23	7,98	8,22
Luzon	2,43	2,27	0,29	0,28	7,99	7,74
Jonas	2,44	2,19	0,29	0,25	7,90	8,38

W tabeli 3 zamieszczono średnie wartości naprężenia niszczącego  $\sigma_n$  [MPa], odkształcenia do momentu zniszczenia  $\epsilon$  oraz współczynnik sprężystości  $E_u$  [MPa] świeżej tkanki korzeni badanych odmian buraków cukrowych. Stwierdzono zróżnicowane wartości badanych parametrów w zależności od odmiany, miejsca oraz sposobu wycinania próbek z korzeni buraków cukrowych (próbki wycięte poprzecznie i podłużnie do osi korzenia). Największą średnią wartość naprężenia niszczącego oraz odkształcenia odnotowano u odmiany Schubert. Największe wartości współczynników sprężystości tkanki odnotowano

u odmiany Balena. W statycznej próbie ściskania próbek świeżej tkanki korzeni wyciętych poprzecznie i podłużnie do osi korzenia, wartości te wynosiły odpowiednio 8,10 i 9,48 MPa.

### Wnioski

1. Na poletkach stwierdzono wysoki plon korzeni buraków cukrowych i wynosił on od 68,4 [t·ha<sup>-1</sup>] dla odmiany Scout do 84,3 [t·ha<sup>-1</sup>] dla odmiany Pasja.
2. Odnotowano umiarkowane zawartości związków melasotwórczych i były odpowiednio:
  - Na od 0,4 [mmol·kg<sup>-1</sup>] do 0,65 [mmol·kg<sup>-1</sup>];
  - N od 40,0 [mmol·kg<sup>-1</sup>] do 57,1 [mmol·kg<sup>-1</sup>];
  - K od 33,8 [mmol·kg<sup>-1</sup>] do 44,9 [mmol·kg<sup>-1</sup>].
3. Zawartość wody, cukru, popiołu oraz wartość energetyczna korzeni badanych odmian była w zakresie:
  - zawartość cukru od 18,2% dla odmiany Pasja do 18,9% dla odmiany Britannia;
  - zawartość wody od 70,9% dla odmiany Britannia do 74,1% dla odmiany Konrad;
  - zawartość popiołu od 0,39% dla odmiany Pasja do 0,79% dla odmiany Luzon;
  - wartość energetyczna od 14,09 MJ·kg<sup>-1</sup> dla odmiany Schubert do 16,92 MJ·kg<sup>-1</sup> dla odmiany Konrad.
4. Wykazano zróżnicowane wartości siły przebicia stemplem skórki i tkanki świeżych korzeni badanych odmian buraków cukrowych. Wartości siły przebicia wahały się w przedziale od 103,5 N do 120,4 N.
5. W badaniach zaobserwowano zróżnicowanie średnich wartości siły niszczącej świeżą tkankę korzeni buraków cukrowych w procesie jednoosiowego ściskania próbek. Wartości te mieściły się w przedziale od 653,1 N do 872,6 N. Najmniejszym naprężeniem niszczącym tkankę odznaczała się odmiana Konrad- 2,08 MPa, największym odmiana Schubert- 2,64 MPa.
6. Nie odnotowano wpływu związków melasotwórczych oraz zawartości popiołu na wartość siły przebicia skórki i tkanki świeżych korzeni oraz wartość naprężenia niszczącego.
7. W procesie jednoosiowego ściskania tkanki korzeni średnie wartości współczynnika sprężystości  $E_u$  wynosiły od 7,87 MPa dla odmiany Scout do 8,79 MPa dla odmiany Balena.

### Bibliografia

1. Bzowska -Bakalarz M., 1995. *Wskaźniki twardości tkanki korzeni buraków cukrowych*. Zeszyty Problemowe Nauk Rolniczych, 423, 77-84.
2. Byszewski W., Ostrowska W., Pala J., 1988. *Produkcja a jakość surowców roślinnych*. PWN, Warszawa, 19-34.
3. Chelemskij M. Z., 1993. *Technologijczeskie kaczestwa sacharnej swiekły*. Piszcz. Promysl. Moskwa.
4. Dobrzycki J., 1984. *Chemiczne podstawy technologii cukru*. WNT. Warszawa, 102-138.
5. Gorzelany J., Sosnowski S., 2003. *Wpływ wybranych czynników na właściwości mechaniczne tkanki korzenia buraka cukrowego*. Acta Agrophysica, 2(1), 73-82.
6. Jabro, J. D., Stevens, W. B., Iversen, W. M., and Evans, R. G. 2010. *Tillage Depth Effects on Soil Physical Properties, Sugarbeet Yield, and Sugarbeet Quality*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41, 908-916.
7. Kuc P., Tendziagolska E., 2011. *Plonowanie buraka cukrowego w różnych wariantach uprawy roli*. Fragmenta Agronomica, 28(3), 63-69.
8. Meier U., 1997. *Growth Stages of Plants*. Blackwell-Verlag, Berlin, 42-49.
9. Rajewski J., Zimny L., Kuc P., 2008. *Wpływ różnych wariantów uprawy konserwującej na wartość technologiczną korzeni buraka cukrowego*. Problemy Inżynierii Rolniczej, 109-116.
10. Šařec P., Šařec O., 2008. *Straty plonu podczas zbioru różnych odmian buraka cukrowego*. Inżynieria Rolnicza 2(100), 239-245.
11. Rajewski J., Zimny L., Kuc P., 2012. *Wpływ różnej uprawy konserwującej buraka cukrowego na właściwości chemiczne gleby*. Fragmenta Agronomica, 29(2), 98-104.

**Józef Gorzelany**

Uniwersytet Rzeszowski  
Katedra Inżynierii Produkcji Rolno- Spożywczej  
ul. Zelwerowicza 4, 35-601Rzeszów  
e-mail: [gorzelan@univ.rzeszow.pl](mailto:gorzelan@univ.rzeszow.pl)