

WPLYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA WARTOŚĆ ODKSZTAŁCENÍ WZGLĘDNYCH I NAPRĘŻEŃ NISZCZĄCYCH BULWY ZIEMNIAKA

Zygmunt Sobol

Katedra Techniki Rolno-Spożywczej,
Akademia Rolnicza im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Wstęp

Do najistotniejszych właściwości mechanicznych bulw ziemniaka zaliczyć należy właściwości reologiczne. Opis zmian relacji pomiędzy naprężeniami i odkształceniami bulw ziemniaka stanowi bazę do modelowania i projektowania wielu operacji procesu zbioru, obróbki pozbiorowej oraz procesów przetwarzania. Zmiany właściwości reologicznych bulw ziemniaka wynikają z oddziaływania wielu grup czynników. Do najistotniejszych można zaliczyć: czynniki związane ze środowiskiem, genetycznymi cechami odmian, wyborem agrotechniki oraz metody długotrwałego przechowywania [KOLOWCA, KRZYSZTOFIK 2003; KOLOWCA i in. 2006; KRZYSZTOFIK, KOLOWCA 2006]. W literaturze przedmiotu brak jest precyzyjnego opisu zmian wytrzymałości mechanicznej bulw oraz odkształceń, towarzyszących destrukcji skórki (wskutek działania naprężeń zewnętrznych) podczas długotrwałego okresu przechowywania. Problem ten nabiera szczególnego znaczenia ze względu na dynamiczny rozwój przetwórstwa ziemniaków na wyroby uszlachetnione i coraz szerszą sprzedaż konfekcjonowanych ziemniaków podczas całego sezonu przechowalniczego [NOWACKI 2000, 2003]. W obu przypadkach podczas przechowywania (w którym bulwy ulegają wielu przemianom fizjologicznym i fizycznym) istnieje konieczność wykonania na bulwach wielu operacji mechanicznych [FRYDECKA-MAZURCZYK, ZGÓRSKA 2000; SOBOL 2005b]. Dlatego znajomość właściwości reologicznych bulw jest obecnie równie istotna w trakcie przechowywania jak w trakcie zbioru.

Celem badań było określenie wpływu czasu przechowywania, odmian, wielkości bulw i rodzaju nawozu na wartość odkształceń względnych i naprężeń normalnych występujących do momentu osiągnięcia granicy wytrzymałości biologicznej bulw ziemniaka. Badania prowadzono przez trzy lata w celu określenia zakresu zmienności odkształceń względnych i naprężeń normalnych.

Materiały i metody

Badania polegały na pomiarze wartości sił powodujących przebicie skórki bulw oraz odkształceń będących efektem ich działania (w granicy wytrzymałości

biologicznej bulwy). Wartość siły odniesiono do powierzchni przekroju trzpienia penetrometru (średnica trzpienia $3,8 \cdot 10^{-3}$ m), a wartość odkształcenia do grubości bulwy. Pomiary wykonano za pomocą penetrometru statyczno-sprężynowego, tuż po zbiorze i na poszczególnych etapach przechowywania zgodnie z metodyką przedstawioną przez autora [SOBOL 2003]. Wartość naprężeń normalnych obliczono ze wzoru (1), a odkształceń względnych ze wzoru (2).

$$\delta = \frac{F}{A} \text{ (Pa)} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{a} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad (2)$$

δ – naprężenia normalne (Pa),

F – siła powodująca przebicie skórki (N),

A – pole powierzchni przekroju trzpienia penetrometru (m^2),

ε – odkształcenie względne bulwy ziemniaka (%),

Δl – odkształcenie bulwy spowodowane działaniem siły F (m),

a – grubość bulwy (m).

Aby utrzymać wyrównane parametry przechowywania i przybliżyć warunki wymiany ciepła i masy z otoczeniem, bulwy w komorze chłodniczej układano pojedynczo na ażurowym podłożu [SOBOL 2005a]. Do przechowywania prób zastosowano zalecane warunki dla ziemniaków jadalnych (temperatura $4\text{--}6^\circ\text{C}$ i ok. 90% wilgotności względnej powietrza). Okres przechowywania wynosił osiem miesięcy, a pomiary przeprowadzano w odstępach jednomiesięcznych. Badania wykonano w okresach przechowalniczych 2001/02, 2002/03, 2003/04. Do badań przyjęto trzy odmiany, tj.: Baszta, Irga i Salto. W obrębie każdej odmiany badano dwie frakcje wielkościowe 30–40 mm i 50–60 mm. Ziemniaki nawożono nawozami mineralnymi (NPK w dawce 90 : 90 : 135 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ czystego składnika, stosowano powierzchniowo wiosną), nawozami zielonymi (mieszanka gorczycy z łubinem – plon 40 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ zielonej masy, przyorano jesienią), biohumusem (mieszanka obornika bydlęcego i innych materiałów organicznych przetworzonych przez dżdżownice kalifornijskie, stosowano lokalnie podczas sadzenia w dawce 8000 $\text{dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), nawozem Polli-Pam (granulat, powstały na bazie kurzych odchodów, metodą termicznej fermentacji bakteryjnej, stosowano lokalnie podczas sadzenia w dawce 2000 $\text{dm}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Jako próbę kontrolną zastosowano uprawę ziemniaków bez nawożenia.

Wyniki i dyskusja

KOŁOWCA, KRZYSZTOFIK [2003]; KOŁOWCA i in. [2006] oraz KRZYSZTOFIK, KOŁOWCA [2006] prowadzili badania wielu właściwości reologicznych w odniesieniu do walcowych prób miąższu, pobranych z bulw ziemniaka. Badania te dotyczyły stanu bulw tuż po zbiorze oraz wybranych okresów przechowywania. Nie dały one jednak bezpośredniej odpowiedzi na pytanie jak zmieniają się właściwości reologiczne całych bulw (bez naruszenia ich struktury). Z przeprowadzonych przez autora badań wynika, że na wartość naprężeń normalnych występujących w granicy wytrzymałości biologicznej bulw ziemniaka i odkształceń względnych,

statystycznie istotny wpływ mają wszystkie przyjęte w doświadczeniu czynniki. Przebiegi zmian zależności odkształceń względnych bulw ziemniaka od czasu przechowywania oraz naprężeń normalnych od odkształceń względnych w całym okresie przechowywania opisano modelami w oparciu o statystyczną metodę estymacji nieliniowej. Zmiany odkształceń względnych od czasu przechowywania wyrażono za pomocą funkcji logarytmicznych (tab. 1), dla których udział wariacji wyjaśnianej zawierał się w zakresie od 0,912 do 0,978. Zależności naprężeń normalnych od odkształceń względnych wyrażono równaniami wielomianów drugiego stopnia (tab. 2), dla których R^2 zawierał się od 0,282 do 0,978. Do estymacji parametrów tych modeli zastosowano algorytm Gaussa-Newtona. Z badań wynika, że na wartość odkształceń względnych (które charakteryzują elastyczność bulw) oraz naprężeń powodujących destrukcję skórki bulw istotny wpływ mają warunki meteorologiczne w okresie wegetacji i zbioru. Przebieg zmian naprężeń w sezonach przechowalniczych 2001/02 i 2002/03 wyraźnie wskazuje, że występuje spadek wytrzymałości mechanicznej bulw podczas okresu spoczynku i znaczny przyrost wytrzymałości w końcowym etapie przechowania (we wszystkich badanych okresach przechowalniczych), (rys. 2A). Najmniejsze wartości naprężeń oraz najmniejszy zakres odkształceń względnych (rys. 1A, 2A; tab. 1, 2) odnotowano po okresie wegetacyjnym w 2002 roku. Rok ten w porównaniu z pozostałymi, w których prowadzono badania należał do najcieplejszych w odniesieniu do okresu wegetacji (średnia temperatura okresu wegetacji w 2002 r. wyniosła 17,60°C; w 2001 r. – 16,32°C; w 2003 r. – 17,36°C), a szczególnie różnił się średnią temperaturą w okresie zbioru (2002 r. – 17,60°C; 2001 r. – 12,90°C; 2003 r. – 12,80°C). Pod względem sumy opadów w całym okresie wegetacji rok 2002 można zakwalifikować do średnich (2002 r. – 308 mm; 2001 r. – 560 mm; 2003 r. – 260 mm), natomiast w 2002 r. wystąpił znaczny niedobór wody w okresie poprzedzającym zbiór i podczas zbioru (suma opadów w trzeciej dekadzie sierpnia i pierwszej dekadzie września w 2002 r. wyniosła 0,4 mm; w 2001 r. – 58,3 mm; 2003 r. – 12,4 mm). Można zatem wnioskować, że na badane właściwości mechaniczne bulw analizowane w całym okresie przechowalniczym niekorzystny wpływ miały – zbyt wysoka temperatura i zbyt mała wilgotność gleby w okresie zbioru. Równie istotny wpływ na badane właściwości miały odmiany bulw ziemniaka. Przebiegi i zakresy zmian odkształceń względnych były porównywalne dla odmian Baszta i Irga (rys. 1B, 2B; tab. 1, 2). Można zatem założyć, że obie odmiany charakteryzowały się podobną elastycznością w okresie przechowywania natomiast różniły się naprężeniami powodującymi ich niszczenie – bulwy odmiany Baszta były bardziej wytrzymałe na naprężenia zewnętrzne niż bulwy odmiany Irga (rys. 2B). Odmiana Salto różniła się od pozostałych odmian pod względem badanych właściwości. Dla odmiany Salto zaobserwowano bardzo gwałtowny wzrost naprężeń w końcowym okresie przechowywania i znacznie szerszy zakres zmienności odkształceń względnych (rys. 2B; tab. 2). Znacznym zróżnicowaniem badanych właściwości charakteryzowały się bulwy przyjętych w doświadczeniu frakcji wielkościowych. Bulwy frakcji większych posiadały mniejszy zakres zmienności odkształceń względnych i nieznacznie większą odporność na działanie naprężeń zewnętrznych w początkowym okresie przechowywania (rys. 1D, 2D; tab. 1, 2). W końcowym okresie przechowywania wytrzymałość bulw różnej wielkości, na działanie naprężeń niszczących ulega wyrównaniu (rys. 2D). Zastosowane różne rodzaje nawozów nie spowodowały praktycznych zmian badanych właściwości (rys. 1C, 2C; tab. 1, 2).

Tabela 1; Table 1

Parametry modelu opisującego zmiany odkształceń względnych ε (%) bulw ziemniaka (w momencie destrukcji skórki) w zależności od czasu przechowywania

Parameters of the model describing relative deformation changes ε (%) of potato tubers (at the moment of destruction of tuber peel) depending on the storage time

Lp. No.	Czynniki Factors	Funkcja estymowana $y = a \cdot \log_{10}(x) + c$ Estimated function $y = a \cdot \log_{10}(x) + c$		
		parametry funkcji function parameters		udział wariancji wyjaśnionej R^2 explained variance share R^2
		a	c	
1	2001/02 r.	5,5466	4,965	0,925
2	2002/03 r.	3,9621	6,844	0,971
3	2003/04 r.	6,0114	7,696	0,936
4	Baszta	4,7511	6,233	0,968
5	Irga	4,3683	6,862	0,977
6	Salto	6,4007	6,410	0,912
7	30–40 mm	6,5758	8,173	0,949
8	50–60 mm	3,7709	4,831	0,978
9	kontrola; control	4,8296	6,555	0,939
10	mineralne; mineral	5,6024	6,389	0,969
11	zielony; green	5,1957	6,423	0,946
12	biohumus; humus	5,1163	6,556	0,955
13	Polli-Pam	5,1229	6,585	0,972

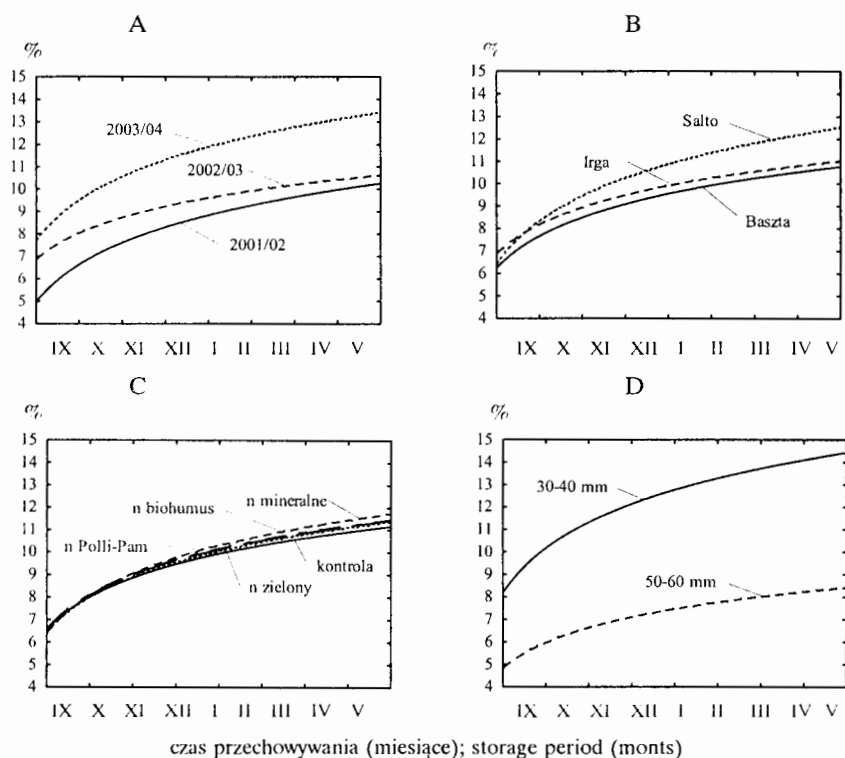
Tabela 2; Table 2

Parametry modelu opisującego zmiany naprężeń normalnych δ (MPa) powodujących destrukcję skórki bulw ziemniaka w zależności od odkształceń względnych ε (%) bulw (w trakcie ośmiomiesięcznego okresu przechowywania)

Parameters of the model describing changes of normal stress δ (MPa) resulting in destruction of potato tuber peel depending on relative deformations ε (%) of the tubers (during eight-month storage period)

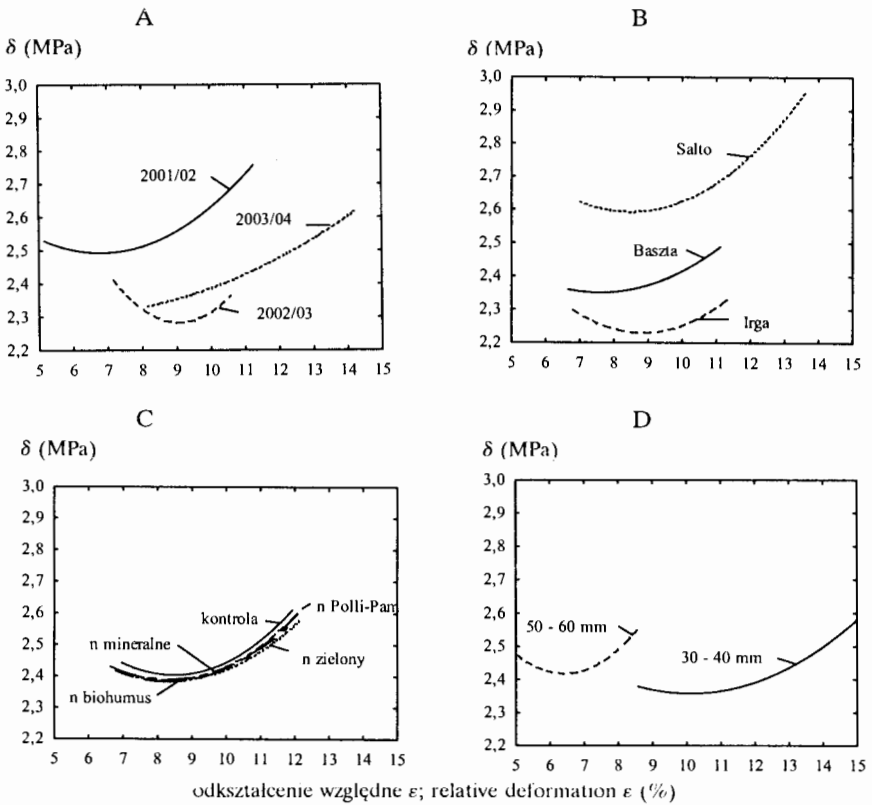
Lp. No.	Czynniki Factors	Funkcja estymowana $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$ Estimated function $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$				Zakres zmienności ε Variability range ε (%)	
		parametry funkcji function parameters			udział wariancji wyjaśnionej R^2 explained variance share R^2	min.	max.
		a	b	c			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2001/02 r.	$13,31 \cdot 10^{-3}$	$-181,15 \cdot 10^{-3}$	3,11	0,881	5,16	11,26
2	2002/03 r.	$35,92 \cdot 10^{-3}$	$-650,89 \cdot 10^{-3}$	5,23	0,282	7,16	10,57
3	2003/04 r.	$4,12 \cdot 10^{-3}$	$-45,36 \cdot 10^{-3}$	2,43	0,961	8,15	14,30
4	Baszta	$10,99 \cdot 10^{-3}$	$-166,82 \cdot 10^{-3}$	2,98	0,612	6,66	11,12

1	2	3	4	5	6	7	8
5	Irga	$16,46 \cdot 10^{-3}$	$-290,92 \cdot 10^{-3}$	3,51	0,729	6,79	11,40
6	Salto	$13,78 \cdot 10^{-3}$	$-234,40 \cdot 10^{-3}$	3,59	0,978	7,01	13,61
7	30-40 mm	$9,25 \cdot 10^{-3}$	$-186,87 \cdot 10^{-3}$	3,30	0,903	8,58	15,41
8	50-60 mm	$7,93 \cdot 10^{-3}$	$-172,27 \cdot 10^{-3}$	3,36	0,902	5,06	8,68
9	kontrola control	$17,29 \cdot 10^{-3}$	$-292,83 \cdot 10^{-3}$	3,64	0,868	6,97	11,93
10	mineralne mineral	$15,04 \cdot 10^{-3}$	$-250,17 \cdot 10^{-3}$	3,43	0,926	6,64	12,24
11	zielony green	$13,36 \cdot 10^{-3}$	$-223,29 \cdot 10^{-3}$	3,32	0,889	6,83	12,16
12	biohumus humus	$15,07 \cdot 10^{-3}$	$-250,02 \cdot 10^{-3}$	3,42	0,859	6,78	12,09
13	Polli-Pam	$13,66 \cdot 10^{-3}$	$227,28 \cdot 10^{-3}$	3,34	0,792	6,87	11,80



Rys. 1. Zależność odkształceń względnych (%) bulw ziemniaka (w momencie destrukcji skórki) od czasu przechowywania: A – dla lat badań, B – dla odmian, C – dla stosowanych nawozów, D – dla frakcji wielkościowych

Fig. 1. Dependence of relative deformations of potato tubers (at the moment of tuber peel destruction) on the time of storage: A – for year of research, B – for cultivar, C – for fertilizers used, D – for size fractions



Rys. 2. Zależność naprężeń normalnych δ (MPa) powodujących destrukcję skórki bulw ziemniaka od odkształceń względnych bulw (w trakcie ośmiomiesięcznego okresu przechowywania): A – dla lat badań, B – dla odmian, C – dla stosowanych nawozów, D – dla frakcji wielkościowych

Fig. 2. Dependence of the normal stress δ (MPa) resulting in destruction of the potato tuber peel on relative deformations of the tubers (during eight-month storage period): A – for year of research, B – for cultivar, C – for fertilizers used, D – for size fractions

Wnioski

1. Naprężenia niszczące bulwy ziemniaka przyjmują najmniejsze wartości w okresie spoczynku, a w końcowym okresie przechowywania osiągają wartości największe. Odkształcenia względne przyrastają od okresu zbioru aż do końca przechowywania. Przebiegi zmian odkształceń względnych od czasu przechowywania wyrazić można równaniami logarytmicznymi, a naprężeń normalnych od odkształceń względnych, w całym okresie przechowywania, równaniami wielomianów drugiego stopnia.
2. Warunki meteorologiczne mają istotny wpływ na badane właściwości. Zbyt wysoka temperatura podczas zbioru i brak opadów w dłuższym okresie przed zbiorem wpływają niekorzystnie na badane właściwości.
3. Bulwy mniejsze ulegają destrukcji przy działaniu mniejszej wartości naprę-

żeń zewnętrznych w początkowym okresie przechowywania w porównaniu z bulwami dużymi. W końcowym okresie przechowywania wytrzymałość bulw różnej wielkości, na działanie naprężeń niszczących ulega wyrównaniu. Bulwy mniejsze ulegają większym odkształceniom względnym niż bulwy duże.

4. Przebieg zmian odkształceń względnych i naprężeń normalnych zależy od odmian. Bulwy odmiany Salto ulegały największym odkształceniom i wytrzymały największe wartości naprężeń spośród wszystkich badanych odmian.
5. Zastosowane nawozy mają niewielki wpływ na badane właściwości.

Literatura

- FRYDECKA-MAZURCZYK A., ZGÓRSKA K. 2000. *Wpływ zabiegu rekondycjonowania na jakość bulw ziemniaków przeznaczonych do przetwórstwa*. Biul. IHAR 214: 213–219.
- KOŁOWCA J., KRZYSZTOFIK B. 2003. *Właściwości lepko-sprężyste miąższu bulw ziemniaka różnej wielkości*. Acta Agrophysica 89: 771–776.
- KOŁOWCA J., KRZYSZTOFIK B., NAWARA P. 2006. *Wpływ czasu przechowywania na właściwości reologiczne bulw ziemniaka*. Acta Agrophysica (w druku).
- KRZYSZTOFIK B., KOŁOWCA J. 2006. *Zależność modułu sprężystości od zmieniającej się zawartości suchej masy bulw ziemniaka w wyniku ich przechowywania*. Acta Agrophysica (w druku).
- NOWACKI W. 2000. *Parametry jakości bulw w konfekcjonowaniu ziemniaka jadalnego*. Ziemniak Polski 3: 2–8.
- NOWACKI W. 2003. *Perspektywy produkcji ziemniaków w Polsce. Ziemniaki nowe wyzwania*. Agro Serwis, IHAR, Stowarzyszenie Polski Ziemniak, Warszawa: 9–13.
- SOBOL Z. 2003. *Wpływ wybranych czynników na niektóre właściwości mechaniczne bulw ziemniaka*. Acta Agrophysica 83: 163–176.
- SOBOL Z. 2005a. *Określenie strat ilościowych bulw ziemniaka. Cz. I. Straty spowodowane kiełkowaniem*. Inżynieria Rolnicza 10(70): 341–348.
- SOBOL Z. 2005b. *Określenie strat ilościowych bulw ziemniaka. Cz. II. Ubytki naturalne*. Inżynieria Rolnicza 10(70): 349–357.

Słowa kluczowe: naprężenia normalne, odkształcenie względne, bulwa ziemniaka, przechowywanie ziemniaków

Streszczenie

Badania dotyczyły oceny naprężeń niszczących i towarzyszących im odkształceń względnych bulw w okresie zbioru i w czasie długotrwałego przechowywania. Z badań wynika, że na wartość badanych właściwości statystycznie istotny wpływ miały: czas przechowywania, warunki meteorologiczne panujące w okresie wegetacji i zbioru, odmiany ziemniaków, frakcje wielkościowe bulw oraz stosowa-

ne nawozy. Badania wskazują na to, że w okresie spoczynku bulwy są najmniej odporne na działanie naprężeń zewnętrznych. Większą odporność mechaniczną posiadają tuż po zbiorze i w końcowym okresie przechowywania. Odkształcenia względne bulw wywoływane naprężeniami zewnętrznymi systematycznie wzrastały podczas okresu przechowywania.

EFFECT OF SELECTED FACTORS
ON THE VALUES OF RELATIVE DEFORMATIONS
AND BREAKING STRESS OF POTATO TUBERS

Zygmunt Sobol

Department of Agricultural and Food Technology
Agricultural University, Kraków

Key words: normal stress, relative deformation, potato tuber, storage of potatoes

Summary

The aim of study was to assess the breaking stress and the accompanying relative deformations of potato tubers during harvest and long-term storage. The research showed that the storage duration, weather conditions during vegetation and harvest, potato cultivar, size fractions of tubers and the fertilizers used significantly affected the properties under study. The research indicated that at resting the tubers are least resistant to external stress. They show greater mechanical resistance immediately after harvest and towards the end of storage period. The relative deformations of tubers caused by external stress increased systematically during the storage period.

Dr inż. **Zygmunt Sobol**
Katedra Techniki Rolno-Spożywczej
Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja
ul. Balicka 104
30-149 KRAKÓW
e-mail: zsobol@ar.krakow.pl