

## WPŁYW PRZECHOWYWANIA NA WARTOŚĆ SIŁY PRZEBICIA SKÓRKI BULW ZIEMNIAKA NAPROMIENIOWANYCH MIKROFALAMI

Tomasz Jakubowski

*Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** Celem pracy było zbadanie wpływu przechowywania na wartość siły przebicia skórki bulw ziemniaka napromieniowanych mikrofalami. Nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu promieniowania mikrofalowego na wzrost wartości siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy bulwy ziemniaka na granicy jej wytrzymałości biologicznej.

**Słowa kluczowe:** ziemniak, mikrofałe, uszkodzenia

### Wstęp

W czasie przechowywania bulw ziemniaka decydujący wpływ na wielkość strat mają czas i warunki magazynowania (z których najważniejszą rolę odgrywa temperatura i wilgotność otaczającego powietrza). Stopień uszkodzeń mechanicznych ma istotny wpływ na jakość bulw ziemniaka we wszystkich kierunkach ich użytkowania [Krzysztofik 2008; Sadowska i in. 2008; Konstankiewicz i in. 2001; Alzad'ua-Morales i in. 1992]. Nowoczesna i na szeroką skalę prowadzona uprawa ziemniaka wymaga pełnego zmechanizowania wszystkich prac polowych i w przechowalnictwie. Zwiększenie udziału maszyn w procesie zbioru i obróbki pozbiorowej powoduje zwiększenie uszkodzonych bulw ziemniaka w plonie. Mechaniczne uszkodzenia bulw ziemniaka są przyczyną ich dyskwalifikacji jako surowca przy większości kierunków użytkowania. Zaznaczyć należy, że następstwem mechanicznych uszkodzeń mogą być straty bezpośrednie (powodowane parowaniem i oddychaniem oraz gniciem bulw) i pośrednie (ciemnienie miąższu, obniżenie zawartości witaminy C oraz zwiększenie szkodliwej dla zdrowia solaniny) [Marks 2009; Sobol 2006; Molema 1999]. W pracy Marksa i in. [2003] oceniano wpływ mikrofalowej stymulacji bulw ziemniaka na powstawanie mechanicznych uszkodzeń. Badania te wskazują, że choć napromieniowanie sadzoniaków mikrofalami nie wpływa istotnie na wielkość wskaźnika uszkodzeń mechanicznych, to stwierdzono, w odniesieniu do próby kontrolnej, mniejsze uszkodzenia w próbie napromieniowanej. Badania Marksa i in. [2006] nie wykazały również istotnych zależności między dawką całkowitą promieniowania mikrofalowego, a wytrzymałością bulwy ziemniaka na obciążenia statyczne mierzone siłą przebicia perydermy bulwy ziemniaka na granicy jej wytrzymałości biologicznej. Doświadczenie przeprowadzone przez Marksa i in. [2008] wykazało natomiast istotną zależność między wytrzymałością bulwy ziemniaka na obciążenia statyczne i ugięciem względnym skórki bulwy ziem-

niaka a jednostkową dawką promieniowania mikrofalowego. Pozytywny wpływ napromieniowania mikrofalami, w odniesieniu do przechowywanych bulw ziemniaka, w postaci zmniejszenia stopnia porażenia przez *Rhizoctonia solani* został opisany w pracy Marksa i in. [2006]. Jeśli mikrofałe wpływają na stopień porażenia bulw ziemniaka przez *Rhizoctonia solani* to mogą również modyfikować ich podatność na uszkodzenia mechaniczne. W niniejszej pracy, przyjęto założenie, że napromieniowanie bulw ziemniaka przed ich przechowywaniem spowoduje zwiększenie wartości siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy na granicy jej wytrzymałości biologicznej po okresie ich przechowywania. Celem pracy było zbadanie wpływu przechowywania na wartość siły przebicia skórki bulw ziemniaka napromieniowanych mikrofalami.

## Zakres pracy i metoda badań

Doświadczenie prowadzono w latach 2006-2008. Wykorzystano trzy bardzo wczesne odmiany ziemniaka: Felka Bona, Rosara i Velox. W doświadczeniu użyto bulw ziemniaka o masie jednostkowej w zakresie 35-45 g. Badania prowadzono w dwóch etapach według schematu przedstawionego w tabeli 1. Bulwy do badań, w liczbie 150 sztuk dla każdej odmiany, pobrano losowo.

Tabela 1. Układ i opis doświadczenia  
Table 1. Experiment arrangement and description

Symbol etapu doświadczenia	Charakterystyka etapu doświadczenia	Moc urządzenia i czas ekspozycji	Odmiany ziemniaka	Liczba bulw w etapie doświadczenia
E1	Określenie siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy bulwy ziemniaka	nie dotyczy	Felka Bona Rosara Velox	90
E2	Napromieniowanie bulw ziemniaka mikrofalami, przechowywanie, po okresie przechowywania określenie siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy bulwy ziemniaka	100 W i 10 s 100 W i 20 s 100 W i 60 s kontrola	Felka Bona Rosara Velox	360
Łączna liczba bulw wykorzystanych w doświadczeniu w 1 roku badań: 450				

Źródło: opracowanie własne autora

Bezpośrednio po zbiorze określono masę każdej bulwy. W każdej kombinacji doświadczenia 30 bulw napromieniowano mikrofalami w czasach: 10, 20 i 60 s. Wykorzystano urządzenie o mocy 100 W generujące mikrofałe o częstotliwości 2,45 GHz. Pojedynczą bulwę umieszczano w szczelnej komorze wyposażonej w obrotowe dno i precyzyjny wyłącznik czasowy. Faktyczne całkowite dawki promieniowania mikrofalowego, uwzględniające straty mocy, wynosiły od 150 do 9000 J. Przy założonych parametrach pracy generatora mikrofal. teoretyczne (nie uwzględniające żadnych strat) całkowite dawki promieniowania mikrofalowego wynosiłyby od 1000 do 60000 J. Rzeczywiste dawki

jednostkowe, uwzględniające masę bulw zawierały się w przedziale między 3,33 a 257,14 J·g<sup>-1</sup>. Efekt cieplnego działania mikrofal (w dawkach teoretycznych) na napromienianą bulwę ziemniaka można określić poprzez przyrost jej temperatury według zależności podanej przez autora [Jakubowski 2009bc]. Zmienność masy bulw w żadnym roku nie przekroczyła 9% (tab. 2). Bezpośrednio po ekspozycji próby umieszczono i przechowywano w chłodni (z automatyczną regulacją temperatury) w temperaturze 5-6°C przy wilgotności 90-95% w drewnianych skrzynkach (w pojedynczych warstwach) przez okres 7 miesięcy. Taki sposób przechowywania zapewniał jednolite warunki wymiany ciepła i masy bulw z otoczeniem. Badania wytrzymałości bulw ziemniaka na obciążenia mechaniczne prowadzone były w warunkach laboratoryjnych. Próbkę obciążano przy użyciu penetrometru statyczno-sprężynowego, aż do momentu ich uszkodzenia przez walcowy sworzeń wciskany w miąższ. Bulwę uszkodzono w jej środkowej części wzdłuż kierunku pomiaru grubości. Nacisk na bulwę przenoszony był poprzez sprężynę, której ugięcie było proporcjonalne do wywieranego nacisku. Miernikiem odporności była siła przebicia skórki i wciśnięcia sworznia w głąb miąższu bulwy. Wartości liczbowe uzyskane w trakcie pomiarów penetrometrem przekształcono przy użyciu wzoru (1) opisanego w pracy Sobola [2006] w wartości odzwierciedlające siłę przebicia odpowiadającą granicy wytrzymałości biologicznej skórki bulwy ziemniaka. Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji z testem Duncan'a na poziomie istotności  $\alpha=0,05$  przy użyciu pakietu STATISTICA 8.0. Dla każdego etapu badań przeprowadzono oddzielną analizę wariancji; dla etapu E1 analizę wariancji efektów głównych, a dla etapu E2 czynnikową analizę wariancji. Poprzez procedury porównań wielokrotnych określono grupy homogeniczne.

$$F = 11,714W + 10,543 \quad [N] \quad (1)$$

gdzie:

- $F$  – siła powodująca przebicie skórki bulwy ziemniaka [N],
- $W$  – wskazanie czujnika penetrometru [mm],
- 11,714 – stała wynikająca z charakterystyki sprężyny,
- 10,543 – współczynnik wynikający ze wstępnego ugięcia sprężyny.

Tabela 2. Podstawowe statystyki dotyczące masy bulw ziemniaka użytych w doświadczeniu

Table 2. Basic statistics concerning mass of potato tubers used in the experiment

Odmiana i rok badań	Masa bulw w próbie [g]			Odchylenie standardowe [g]	Współczynnik zmienności [%]
	Średnia	Minimalna	Maksymalna		
Felka 2006	38,9	35,0	44,2	2,9	7,7
Velox 2006	38,6	35,0	44,5	2,8	7,4
Rosara 2006	39,0	35,3	44,8	2,9	7,5
Felka 2007	38,9	35,0	44,2	3,0	7,9
Velox 2007	39,9	35,0	45,0	3,4	8,5
Rosara 2007	39,0	35,3	44,8	3,0	7,8
Felka 2008	40,1	35,0	45,0	3,5	8,8
Velox 2008	38,8	35,0	44,5	2,8	7,4
Rosara 2008	37,9	35,0	44,8	3,1	8,2

Źródło: obliczenia własne autora

## Wyniki badań i ich omówienie

Analiza wariancji dla efektów głównych (efektów pierwszego rzędu nie uwzględniających interakcji między zmiennymi niezależnymi) w pierwszym etapie badań (E1) wykazała istotny wpływ roku, w którym prowadzono badania oraz odmiany na wartość siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy bulwy ziemniaka na granicy jej wytrzymałości biologicznej. Dane z drugiego etapu badań (E2) analizowano poprzez jednoczynnikową analizę wariancji dla układów czynnikowych z uwzględnieniem efektów interakcji. Stwierdzono statystycznie istotny wpływ wszystkich zmiennych niezależnych (oraz efektów interakcji między nimi) uwzględnionych w doświadczeniu na wartość siły (tabela 3, rys. 1).

Zarówno w pierwszym jak i w drugim etapie doświadczenia lata badań 2006-2007 utworzyły jedną grupę homogeniczną a rok 2008 grupę osobną (tab. 4). W latach 2007-2008 siła przebiccia perydermy bulwy ziemniaka uległa zwiększeniu z 16,5 N w etapie pierwszym do 17,0 N w etapie drugim (ponad 3,0%), a w roku 2008, analogicznie, z 18,9 N do 19,2 N (blisko 1,6%). W pierwszym etapie badań odmiany ziemniaków reprezentowały różne grupy homogeniczne (tab. 5) a po okresie przechowywania (w etapie drugim) odmiany Felka Bona i Rosara utworzyły jedną grupę jednorodną. Po okresie przechowywania, średnia wartość siły przebiccia perydermy bulw ziemniaka badanych odmian przeciętnie uległa zwiększeniu o ponad 3,5%. Czasy 10 i 20 s napromieniowania bulw ziemniaka mikrofalami nie modyfikowały wartości siły uszkadzającej perydermę i wraz z próbą kontrolną utworzyły jedną grupę homogeniczną. Czas napromieniowania (60 s) bulw ziemniaka, w porównaniu z próbą kontrolną, istotnie obniżył wartość siły uszkadzającej perydermę (tab. 6).

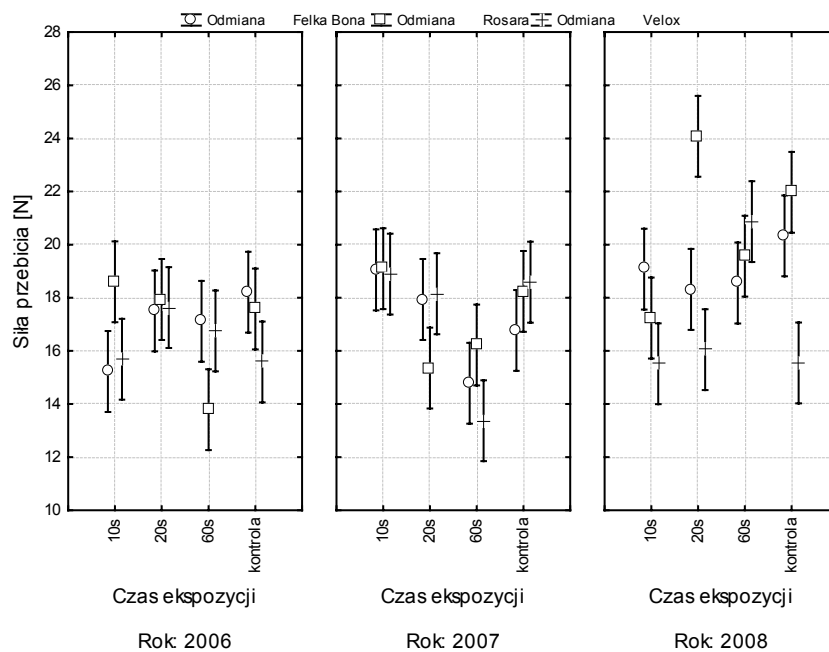
Tabela 3. Wynik analizy wariancji (jednowymiarowe testy istotności), wpływ lat badań, odmiany i dawki mikrofal na siłę przebiccia skórki ziemniaka

Table 3. Variance analysis result (one-dimensional significance tests), the impact of years of tests, variety and microwave dose on potato tuber peel puncture force

Etap badań	Predyktor jakościowy	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średnie sumy kwadratów	Wartość testu F	Poziom p
E1	Wyraz wolny	81765,81	1	81765,81	3299,770	0,000000
	Rok	435,24	2	217,62	8,782	0,000203
	Odmiana	557,19	2	278,60	11,243	0,000021
	Błąd	6566,50	265	24,78		
E2	Wyraz wolny	336194,2	1	336194,2	18625,74	0,000000
	Rok (1)	917,6	2	458,8	25,42	0,000000
	Ekspozycja (2)	313,7	3	104,6	5,79	0,000629
	Odmiana (3)	367,1	2	183,6	10,17	0,000042
	1*2	1040,7	6	173,4	9,61	0,000000
	1*3	493,9	4	123,5	6,84	0,000020
	2*3	264,2	6	44,0	2,44	0,023917
	1*2*3	1684,2	12	140,3	7,78	0,000000
Błąd	18844,2	1044	18,0			

Źródło: obliczenia własne autora

Wpływ przechowywania...



Źródło: obliczenia własne autora

Rys. 1. Graficzna prezentacja efektu interakcji między odmianą ziemniaka, czasem napromieniowania mikrofalami oraz rokiem w którym prowadzono badania, a wartością siły przebiccia skórki bulwy ziemniaka

Fig. 1. Graphical effect presentation for interactions between potato variety, microwave irradiation duration, and year of tests, and the value of potato tuber peel puncture force

Tabela 4. Wynik testu Duncan'a, grupy jednorodne - wpływ roku w którym prowadzono badania na wartość siły przebiccia skórki bulwy ziemniaka

Table 4. Duncan's test result, homogeneous groups - the impact of year when the tests were carried out on the value of potato peel puncture force

Etap badań	Rok badań	Siła przebiccia (N)	Grupy jednorodne	
			1	2
E1	2006	16,5	****	
	2007	16,5	****	
	2008	18,9		****
E2	2006	16,8	****	
	2007	17,2	****	
	2008	19,2		****

Źródło: obliczenia własne autora

Tabela 5. Wynik testu Duncan'a, grupy jednorodne - wpływ odmiany ziemniaka na wartość siły przebiccia skórki bulwy ziemniaka

Table 5. Duncan's test result, homogeneous groups - potato variety impact in the value of potato tuber peel puncture force

Etap badań	Odmiana	Siła przebiccia (N)	Grupy jednorodne		
			1	2	3
E1	Velox	15,6	****		
	Felka Bona	17,5		****	
	Rosara	18,1			****
E2	Velox	16,9		****	
	Felka Bona	17,8	****		
	Rosara	18,3	****		

*Źródło: obliczenia własne autora*

Tabela 6. Wynik testu Duncan'a, grupy jednorodne - wpływ czasu napromieniowania mikrofalami na wartość siły przebiccia skórki bulwy ziemniaka

Table 6. Duncan's test result, homogeneous groups - the impact of microwave irradiation duration on the value of potato tuber peel puncture force

Czas ekspozycji	Siła przebiccia [N]	Grupy jednorodne	
		1	2
60s	16,8		****
10s	17,6	****	
kontrola	18,1	****	
20s	18,1	****	

*Źródło: obliczenia własne autora*

Zdaniem Marksa [2009] o odporności bulwy ziemniaka na uszkodzenia mechaniczne decydują czynniki związane z rośliną, ze środowiskiem wzrostu i rozwoju bulwy ziemniaka oraz związane z agrotechniką uprawy. W przeprowadzonym doświadczeniu pobrane do badań bulwy ziemniaka uprawiane były w tym samym środowisku i według tych samych zasad agrotechniki. Różnice wynikłe z wartości siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy bulwy ziemniaka na granicy jej wytrzymałości biologicznej między niektórymi kombinacjami doświadczenia będą więc głównie wynikały z czynników związanych z rośliną a w przypadku różnic w latach badań - z przyczyn meteorologicznych. Marks [2009], spośród czynników związanych z rośliną, mających wpływ na odporność bulw na mechaniczne uszkodzenia wymienia: odmianę ziemniaka, kształt, wielkość i strefę bulwy oraz jej dojrzałość, skład chemiczny i budowę wewnętrzną. W prezentowanym doświadczeniu uwzględniono trzy odmiany ziemniaka tej samej wczesności. Bulwy ziemniaka były zbliżone kształtem, wielkością i stopniem dojrzałości, a uszkodzenia perydermy dokonywano w tej samej strefie. Skład chemiczny bulwy ziemniaka oraz jej budowa wewnętrzna są cechami typowo odmianowymi i uwarunkowanymi genetycznie. Przyjąć można, że to te czynniki zadecydowały o różnej odporności bulwy na uszkodzenia mechaniczne określone poprzez wartość siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy na granicy jej wytrzymałości biologicznej. Dodać należy, że bulwa ziemniaka charakteryzuje się w swej objętości róż-

nicowaną budową anatomiczną, a rozmieszczenie składników suchej substancji i wody w poszczególnych częściach bulwy ma charakter ortotropowy. W trakcie długotrwałego przechowywania bulw ziemniaka zachodzą w nich procesy oddychania, parowania oraz kiełkowania a peryderma przechodzi proces korkowacenia w wyniku czego staje się bardziej odporna na uszkodzenia mechaniczne. Procesy te, będące przejawem funkcji życiowych, przebiegają poprzez reakcje substancji zapasowych zawartych w bulwie i mogą prowadzić do zmiany w proporcjach jej składników chemicznych a poprzez to do zmiany podatności perydermy na uszkodzenia mechaniczne. Przyjęte w doświadczeniu czasy (10 i 20 s) napromieniowania bulw ziemniaka mikrofalami nie spowodowały statystycznie istotnych zmian w wartości siły uszkadzającej ich perydermę. Nie należy jednak przyjmować, że promieniowanie mikrofalowe w żadnej mierze nie wpływa na podatności bulwy ziemniaka na uszkodzenia mechaniczne. Założyć raczej trzeba, że to czynniki związane z procesem przechowywania (oddychanie, parowanie, kiełkowanie oraz korkowacenie perydermy bulwy) determinowały zmianę podatności bulwy ziemniaka na uszkodzenia mechaniczne wynikłe z ich napromieniowania mikrofalami. W prezentowanych badaniach, czas 60 s podczas którego napromieniowano bulwy ziemniaka mikrofalami, spowodował (w porównaniu z innymi kombinacjami doświadczenia) obniżenie wartości siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy na granicy jej wytrzymałości biologicznej. W pracy autora [Jakubowski 2008] napromieniowanie bulw ziemniaka będących w fazie niepełnej dojrzałości do zbioru powodowało zwiększenie wartości siły potrzebnej do przebicia skórki bulwy ziemniaka odpowiadającej granicy jej wytrzymałości biologicznej. Zjawisko takie, tłumaczone było aktywnością suberyny w napromienianej bulwie ziemniaka, pod wpływem mikrofal działających przez czas 10 i 15 s. Suberynizacja prowadzi do korkowacenia perydermy poprzez adkrustację błony komórkowej suberyną. Zastosowany w prezentowanym doświadczeniu czas 60 s napromieniania mikrofalami, podobnie jak w doświadczeniu przeprowadzonym przez Nebesny i in. [2003] mógł spowodować częściowe rozluźnienie ogrzanych błon komórkowych rośliny. Dodać należy, że w przypadku ciała umieszczonego w polu elektromagnetycznym może wystąpić, płynący po powierzchni napromienianego ciała, prąd Foucaulta (prąd wirowy), w wyniku działania którego, też może wystąpić efekt termiczny. Nadmierna ekspozycja organizmu żywego w polu elektromagnetycznym może prowadzić do deformacji, depolaryzacji, perforacji błon komórek, może oddziaływać na ruch jonów w elektrolitach lub nawet prowadzić do obumarcia komórki.

## Wnioski

1. Po założonym okresie przechowywania nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu promieniowania mikrofalowego na wartości siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy bulwy ziemniaka odpowiadającej granicy jej biologicznej wytrzymałości.
2. W porównaniu z próbą kontrolną, po założonym okresie przechowywania, przyjęty w doświadczeniu czas napromieniowania 60 s spowodował obniżenie wartości siły potrzebnej do uszkodzenia perydermy bulwy ziemniaka odpowiadającej granicy jej biologicznej wytrzymałości.

## Bibliografia

- Alzad'ua-Morales A., Bourne M.C., Shomer I.** 1992. Cultivar, specific gravity and location in tuber affect puncture force of raw potatoes. *J. Food Sci.* 57. s. 1353-1356.
- Jakubowski T.** 2009a. Wytrzymałość biologiczna skórki bulw ziemniaka napromieniowanych mikrofalami. *Acta Agrophysica* 13(3). s. 685-693.
- Jakubowski T.** 2009b. Efekt cieplny mikrofalowego ogrzewania bulwy ziemniaka. *Acta Agrophysica* 171. vol. 14(2). s. 345-354.
- Jakubowski T.** 2009c. Modelowanie przyrostu temperatury bulwy ziemniaka w trakcie jej mikrofalowego ogrzewania. *Inżynieria Rolnicza* 9(118).
- Konstankiewicz K., Pawlak K., Zdunek A.** 2001. Influence of structural parameters of potato tuber cells on their mechanical properties. *International Agrophysics* 4. s. 243-246.
- Krzysztofik B.** 2008. Wpływ miejsca przechowywania na zmiany cech jakościowych bulw ziemniaka. *Acta Agrophysica* vol. 11. Nr 2. s. 449-456.
- Marks N.** 2009. Mechaniczne uszkodzenia bulw ziemniaka. Wydawnictwo DRUKROL. ISBN 83-917053-7-4.
- Marks N., Jakubowski T.** 2008. Określenie zależności pomiędzy odpornością bulwy ziemniaka na uszkodzenia mechaniczne a wielkością dawki promieniowania mikrofalowego. *Inżynieria Rolnicza* 1(99). s.283-289.
- Marks N., Jakubowski T.** 2006. Wpływ promieniowania mikrofalowego na trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza* 6(80). s. 57-64.
- Marks N., Jakubowski T.** 2006. Wpływ promieniowania mikrofalowego na wytrzymałość statyczną bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza* 13(88). s.365-375.
- Marks N., Sobol Z., Baran D.** 2003. Ocena mikrofalowej stymulacji bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza* 11(53). s. 151-157.
- Molema G.J.** 1999. Mechanical force and subcutaneous tissue discolouration in potato. PhD thesis, Wageningen University, Netherlands. s.1-117.
- Nebesny E., Budryn G.** 2003. Antioxidative activity of green and roasted coffee beans as influenced by convection and microwave roasting methods and content of certain compounds. *Eur. Food Res. Technol.* 217. s. 157-163.
- Sadowska J., Fornal J., Zgórska K.** 2008. The distribution of mechanical resistance in potato tuber tissues. *Postharvest Biology and Technology*. Vol 48, Issue 1. s. 70-76.
- Sobol Z.** 2006. Wpływ wybranych czynników na wartość odkształceń względnych i naprężeń niszczących bulwy ziemniaka. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rolniczych* 511. Cz. II. s. 397-405.



## **STORAGE IMPACT ON PUNCTURE FORCE VALUE FOR PEEL OF POTATO TUBERS IRRADIATED WITH MICROWAVES**

**Abstract.** The purpose of the work was to examine storage impact on puncture force value for peel of potato tubers irradiated with microwaves. The researchers have observed no statistically significant impact of microwave radiation on increase in the value of force needed to damage potato tuber periderm at the boundary of its biological resistance.

**Key words:** potato, microwaves, defects

**Adres do korespondencji:**

Tomasz Jakubowski; e-mail: [tjakubowski@ar.krakow.pl](mailto:tjakubowski@ar.krakow.pl)  
Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
ul. Balicka 116B  
30-149 Kraków