

WPŁYW PRZECHOWYWANIA NA UBYTKI MASY BULW ZIEMNIAKA NAPROMIENIOWANYCH MIKROFALAMI

Tomasz Jakubowski

Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków
e-mail: tjakubowski@ar.krakow.pl

Streszczenie. Celem pracy było określenie ubytków masy bulw ziemniaka napromieniowanych mikrofalami w kolejnych etapach ich przechowywania. Badania prowadzono w latach 2006-2008 z użyciem trzech bardzo wczesnych odmiany ziemniaka: Felka Bona, Rosara i Velox. W doświadczeniu wykorzystano urządzenie o mocy 100 W generujące promieniowanie mikrofalowe o częstotliwości 2,45 GHz. Uzyskane wyniki badań wskazują na to, że w przyjętych w doświadczeniu czasach ekspozycji (10, 20 i 60 s) promieniowanie mikrofalowe istotnie modyfikuje – zmniejsza – ubytek masy przechowywanych bulw ziemniaka.

Słowa kluczowe: ziemniak, mikrofałe, przechowywanie, ubytki

WSTĘP

W przechowywanych bulwach ziemniaka zachodzą procesy fizjologiczno-biochemiczne, które prowadzą nie tylko do zmian ilościowych, ale również i jakościowych (Sobol 2005ab, Krzysztofik 2008). Każda odmiana ziemniaka cechuje się genetycznie uwarunkowaną przydatnością do przechowywania, która może być modyfikowana warunkami agrotechnicznymi i klimatycznymi w okresie wegetacji, a następnie warunkami podczas zbioru i przechowywania (Sowa-Niedziałkowska 2002). W czasie przechowywania decydujący wpływ na wielkość strat ma czas magazynowania i warunki, z których najważniejszą rolę odgrywa temperatura i wilgotność względna otaczającego powietrza. Sęk i Przybył (2004) podkreśla, że w trakcie przechowywania ziemniaków w bulwach zachodzą procesy oddychania, parowania oraz kiełkowania przyczyniające się do ubytków naturalnych jak również mogą występować procesy gnilne powodowane przez choro-

by przyczyniające się do ubytków nieużytkowych. Jak wynika z badań Marksa i in. (2005, 2006) obniżenie strat całkowitych i ubytków naturalnych przechowywanych bulw ziemniaka można uzyskać również poprzez stosowanie niektórych metod fizycznych. W przedstawionych powyżej pracach ubytek masy bulw ziemniaka określano przez porównanie ich masy przed i po okresie przechowywania. W dostępnej literaturze odczuwa się niedosyt informacji dotyczących zmian masy bulw ziemniaka napromieniowanych mikrofalami w poszczególnych fazach ich przechowywania. Mając na uwadze powyższe celem pracy było określenie ubytków masy bulw ziemniaka, które napromieniowano mikrofalami przed ich umieszczeniem w przechowalni, w kolejnych etapach ich przechowywania.

ZAKRES PRACY I METODA BADAŃ

Doświadczenie prowadzono w latach 2006-2008 z użyciem trzech bardzo wczesnych odmiany ziemniaka: Felka Bona, Rosara i Velox. W doświadczeniu wykorzystano frakcjonowane bulwy ziemniaka o masie jednostkowej w zakresie 35-45 g. Bulwy do badań, w liczbie 120 sztuk dla każdej odmiany, pobrano losowo. Bezpośrednio po zbiorze określono masę każdej bulwy i po 30 bulw dla każdej kombinacji doświadczenia napromieniowano mikrofalami w czasach: 10, 20 i 60 s. W doświadczeniu wykorzystano urządzenie o mocy źródła 100 W generujące mikrofałe o częstotliwości 2,45 GHz. Przy założonych parametrach pracy generatora mikrofal teoretyczne (nie uwzględniające żadnych strat) całkowite dawki promieniowania mikrofalowego wynosiłyby od 1000 do 60000 J. Zdaniem Miki i in. (2004) energia mikrofal jaka oddziałuje na powierzchnię napromienianego ciała zależy od odległości w jakiej znajduje się promiennik. Zdaniem wspomnianych Autorów rzeczywista sprawność magnetronu, po uwzględnieniu strat cieplnych i strat na promieniowanie wynosi zaledwie 50%, a w przypadku 10 cm dystansu między końcówką falowodu a napromienianym obiektem energia ta maleje jeszcze o około 40%. Mikrofałe mogą ulegać odbiciu, rozproszeniu, załamaniu i dyfrakcji na strukturach tkankowych a padająca na powierzchnię wiązka mikrofal zostaje jedynie w około 50% przez nie pochłonięta (pozostała część zostaje odbita od powierzchni). Po uwzględnieniu powyższych strat faktyczne całkowite dawki promieniowania mikrofalowego wynosiłyby od 150 do 9000 J a rzeczywiste dawki jednostkowe, uwzględniające masę bulw zawierałyby się w przedziale między 3,33 a 257,14 J·g⁻¹. 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. 1). Pojedynczą bulwę umieszczano w odległości około 10 cm od końcówki falowodu w szczelnej komorze wyposażonej w obrotowe dno i precyzyjny wyłącznik cza-

sowy. 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 przez okres 7 miesięcy. W trakcie okresu przechowywania pięciokrotnie badano masę bulw przy kroku pomiarowym 40 dni. Masę bulw określano wraz z wyrosłymi w trakcie przechowywania kielkami. Ubytek masy w trakcie całego okresu przechowywania obliczono jako różnicę między pierwszą a ostatnią odczytaną wartością masy bulwy ziemniaka. Przy użyciu pakietu STATISTICA 8.0 uzyskane wyniki poddano analizie wariancji z testem Duncan'a na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Tabela 1. Podstawowe statystyki dotyczące masy bulw ziemniaka użytych w doświadczeniu
Table 1. Basic statistics on the mass of potato tubers used in the experiment

Odmiana i rok badań Variety and year	Masa bulw w próbie Mass of tubers in sample (g)			Wariancja Variation (g)	Odchylenie standardowe Standard deviation (g)	Współczynnik zmienności Variation coefficient (%)
	Średnia Medium	Mini- malna Minimum	Maksy- malna Maximum			
Felka 2006	38,9	35,0	44,2	8,0	2,9	7,7
Velox 2006	38,6	35,0	44,5	8,2	2,8	7,4
Rosara 2006	39,0	35,3	44,8	8,6	2,9	7,5
Felka 2007	38,9	35,0	44,2	9,5	3,0	7,9
Velox 2007	39,9	35,0	45,0	11,6	3,4	8,5
Rosara 2007	39,0	35,3	44,8	9,4	3,0	7,8
Felka 2008	40,1	35,0	45,0	12,3	3,5	8,8
Velox 2008	38,8	35,0	44,5	8,2	2,8	7,4
Rosara 2008	37,9	35,0	44,8	9,6	3,1	8,2

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

W tabeli 2 przedstawiono wyniki analizy wariancji dotyczącej ubytku masy przechowywanych bulw ziemniaka w stosunku do przyjętych zmiennych niezależnych: roku badań, odmiany, daty pomiaru i czasu ekspozycji. Wyniki testu Duncan'a weryfikującego istotne różnice między badanymi zmiennymi oraz grupy jednorodne badanych zmiennych zestawiono w tabelach 3-5. Na rysunku 1 zobrazowano całkowity ubytek masy bulw ziemniaka w trakcie okresu przecho-

wywania. Ze względu na fakt, że rok badań nie modyfikował zmiennej zależnej (ubytku masy) prezentację graficzną oparto o uwzględnione w doświadczeniu odmiany ziemniaka i czasu napromieniowania bulw mikrofalami. Analiza wariancji wykazała istotny wpływ odmiany, daty wykonania pomiaru i czasu napromieniowania mikrofalami na ubytki masy bulwy ziemniaka w trakcie okresu przechowywania. Istotne okazały się również niektóre interakcje dwuczynnikowe pomiędzy predyktorami jakościowymi. Dla statystycznie istotnych predyktorów jakościowych zbadano różnice między średnimi w poszczególnych grupach.

Tabela 2. Wyniki jednowymiarowego testu istotności; wpływ lat badań, odmiany, daty wykonania pomiaru i czasu napromieniowania mikrofalami na ubytki masy bulw ziemniaka (przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$)

Table 2. Results of one-dimensional test of significance, the impact of research years, variety, time of performance of measurement and microwave irradiation time on the mass loss of potato tubers (significant differences at $\alpha = 0.05$)

Predyktor jakościowy Qualitative predictor	Suma kwadratów Sum of squares	Stopnie swobody Degrees of freedom	Średni kwadrat Mean square	F	p
Wyraz wolny Absolute term	32726,50	1	32726,50	56478,20	0,000
{1} Rok – Year	1,48	2	0,74	1,27	0,065
{2} Odmiana – Variety	121,94	2	60,97	105,22	0,000
{3} Data pomiaru Date of measurement	20231,52	4	5057,88	8728,71	0,000
{4} Czas ekspozycji Exposure time	182,60	3	60,87	105,04	0,000
1*2	337,25	4	84,31	145,50	0,000
1*3	144,28	8	18,03	31,12	0,000
2*3	78,50	8	9,81	16,93	0,000
1*4	1,80	6	0,30	0,52	0,796
2*4	1,06	6	0,18	0,31	0,934
3*4	170,37	12	14,20	24,50	0,000
1*2*3	298,20	16	18,64	32,16	0,000
1*2*4	2,34	12	0,19	0,34	0,983
1*3*4	2,96	24	0,12	0,21	0,999
2*3*4	0,93	24	0,04	0,07	1,000
1*2*3*4	3,69	48	0,08	0,13	1,000
Błąd – Error	3024,75	5220	0,58		

Tabela 3. Wynik testu Duncan'a dla porównań wielokrotnych (różnice między odmianami w stosunku do ubytków masy bulwy, $\alpha = 0,05$)

Table 3. Duncan test for multiple comparisons (differences between varieties in relation to tuber mass loss, $\alpha = 0.05$)

Nr No	Odmiana Variety	Przybliżone prawdopodobieństwa Dla testów post-hoc Approximate probability for post-hoc tests			Grupy jednorodne Homogeneous group		
		{1} - 2,31	{2} - 2,67	{3} - 2,42	1	2	3
		1	Felka Bona		0,0000	0,0000	***
2	Rosara	0,0000		0,0000		***	
3	Velox	0,0000	0,0000				***

Tabela 4. Wynik testu Duncan'a dla porównań wielokrotnych (różnice między datami pomiarów w stosunku do ubytków masy bulwy, $\alpha = 0,05$)

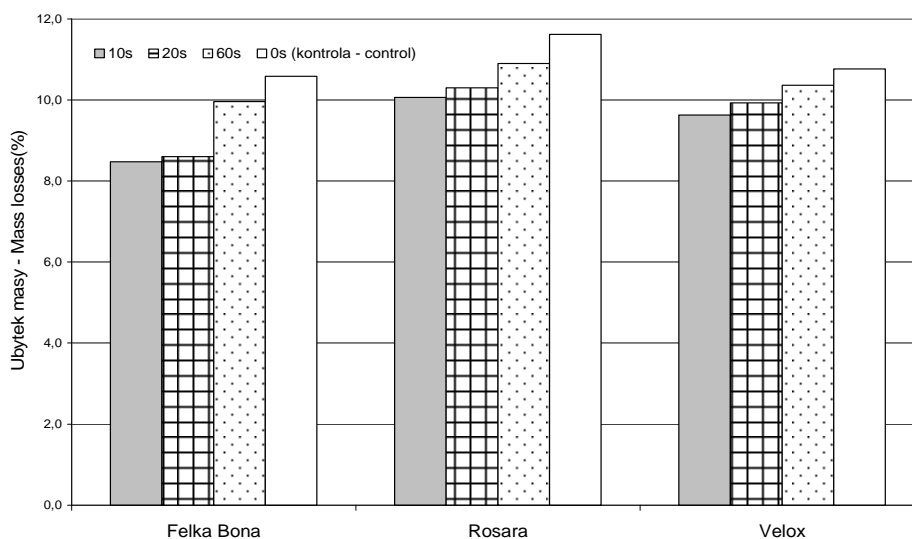
Table 4. Duncan test for multiple comparisons (differences between dates of measurements in relation to tuber mass loss, $\alpha = 0.05$)

Nr No	Data pomiaru Date of meas- urement	Przybliżone prawdopodobieństwa dla testów post-hoc Approximate probability for post-hoc tests					Grupy jednorodne Homogeneous group			
		{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	1	2	3	4
		0,88	1,01	1,21	3,28	5,91				
1	I		0,000	0,000	0,000	0,000	***			
2	II	0,000		0,188	0,000	0,000		***		
3	III	0,000	0,188		0,000	0,000		***		
4	IV	0,000	0,000	0,000		0,000			***	
5	V	0,000	0,000	0,000	0,000					***

Tabela 5. Wynik testu Duncan'a dla porównań wielokrotnych (różnice między czasami ekspozycji w stosunku do ubytków masy bulwy, $\alpha = 0,05$)

Table 5. Duncan test for multiple comparisons (differences between exposure times in relation to tuber mass loss, $\alpha = 0.05$)

Nr No	Czas ekspozycji Exposure time	Przybliżone prawdopodobieństwa dla testów post-hoc Approximate probability for post-hoc tests				Grupy jednorodne Homogeneous group		
		{1} 2,30	{2} 2,30	{3} 2,49	{4} 2,75	1	2	3
		1	10 s		0,000003	0,000011	0,000009	***
2	20 s	0,000003		0,981640	0,000011	***		
3	60 s	0,000011	0,981640		0,000009		***	
4	0 s	0,000009	0,000011	0,000009				***



Rys. 1. Ubytek masy bulw badanych odmian ziemniaka w zależności od zastosowanego czasu napromieniowania mikrofalami

Fig. 1. Loss of mass of potato tubers studied, depending on the applied microwave irradiation time

Przeprowadzone testy post-hoc, umożliwiające grupowanie średnich, wykazały, że ubytki masy bulw są istotnie różne między odmianami ziemniaków, terminem pomiaru ubytku masy i zastosowanym czasem napromieniowania mikrofalami. Przyjęte w doświadczeniu odmiany ziemniaka reprezentują różne grupy jednorodne (tab. 3). Wynika z tego, że procesy oddychania i transpiracji w trakcie przechowywania bulw ziemniaka badanych odmian nie przebiegają w sposób jednakowy pomimo, iż odmianowo należą do tej samej grupy wczesności i reprezentują podobny stopień trwałości przechowalniczej (7° - 9° w skali dziewięciostopniowej). Spodziewanym efektem było, że wyniki badań ubytków masy (tab. 4) przeprowadzone w II i III terminie należeć będą do tej samej grupy jednorodnej, gdyż intensywność parowania wody z bulwy ziemniaka, będąca główną przyczyną ubytków jej masy, najbardziej nasiloną jest w początkowej fazie przechowywania. W fazie tej peryderma bulwy jest jeszcze w trakcie procesu korkowacenia przez co transpiruje większe ilości wody. W kolejnych fazach przechowywania, aż do momentu rozpoczęcia kiełkowania, bulwa wyparowuje mniejsze ilości wody gdyż znajduje się w fazie spoczynku. Porównania wielokrotne prób reprezentujących różne czasy ekspozycji mikrofalowej w stosunku do ubytków masy bulwy wyznaczyły trzy grupy jednorodne przy czym do jednej grupy zaliczone zostały próby napromieniowane w ciągu 10 i 20 s (tab. 5). Próby napromieniowane mikrofalami w czasie 60 s i próba kontrolna utworzyły odrębną grupę jednorodną. Analiza danych do-

tyczących interakcji daty pomiaru i czasu ekspozycji w polu mikrofalowym w stosunku do ubytków masy bulwy ziemniaka (tab. 6) pozwala na zaobserwowanie pewnych prawidłowości w czwartym i piątym terminie pomiaru. Czasy ekspozycji 10 i 20 s tworzą jednorodną grupę (nr 5 w czwartym i nr 8 w piątym terminie) w odróżnieniu od czasu ekspozycji 60 s i próby kontrolnej, które utworzyły odrębne grupy jednorodne. Wynika z powyższego, że napromieniowanie bulw mikrofalami przez czas 10-20 s daje podobny efekt w postaci wielkości ubytku masy bulwy ziemniaka w trakcie jej przechowywania. Jak wynika z danych przedstawionych na rysunku 1 najmniejsze ubytki masy przechowywanych bulw ziemniaka odnotowano dla czasu napromieniowania mikrofalami 10 s (średnio 1,6% w porównaniu z próbą kontrolną). Również dla tej samej kombinacji najmniejszymi ubytkami masy w porównaniu z próbą kontrolną cechowała się odmiana ziemniaka Felka Bona (2,3%) a w dalszej kolejności odmiany Rosara (1,5%) i Velox (1,2%).

Wyniki badań Marksa i in. (2006) dotyczące wpływu promieniowania mikrofalowego na trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka odmian Drop, Irga i Salto wskazują, że ubytki naturalne bulw napromieniowanych były o 2,0% mniejsze w odniesieniu do próby kontrolnej. Podobne wyniki uzyskano (Jakubowski 2008a) badając wpływ promieniowania mikrofalowego na wybrane wskaźniki oceny przechowalniczej bulw ziemniaka odmiany Felka Bona, Velox i Vineta gdzie straty w wyniku oddychania i transpiracji w porównaniu z próbą kontrolną były mniejsze i wynosiły odpowiednio 2,1%, 1,4% i 1,0%. W badaniach Marksa i in. (2006) zauważono, że w miarę wzrostu dawki napromieniowania wzrastają straty całkowite przechowywanych bulw ziemniaka. Głębsza analiza wyników pracy tych Autorów pozwala na stwierdzenie, że są to głównie straty powodowane kiełkowaniem bulw. Za taką interpretacją przemawiają również wyniki badań autora (Jakubowski 2008b) dotyczące wpływu promieniowania mikrofalowego na dynamikę wzrostu kiełków sadzeniaków ziemniaka odmiany Felka Bona – napromieniowanie mikrofalami powodowało zwiększenie masy i liczby kiełków sadzeniaków przy jednoczesnym skróceniu okresu podkiełkowania. Efekt ten tłumaczono termicznym oddziaływaniem mikrofal na procesy biochemiczne zachodzące w napromienianej bulwie ziemniaka. Zależność szybkości reakcji od temperatury, w przypadku procesów biologicznych, określa się wg reguły van't Hoffa i równania Arrheniusa. Istotnym czynnikiem (obok stężenia substratów, potencjału redox, ciśnienia osmotycznego czy obecności substancji inhibitujących i aktywujących) warunkującym sprawność przemian biochemicznych (szybkością reakcji enzymatycznych) jest temperatura (Willers i in. 1993). Wynika to z faktu, że wzrost temperatury pociąga za sobą wzrost szybkości poruszania się cząsteczek, w wyniku czego zwiększa się częstotliwość ich zderzeń, co w dalszej kolejności prowadzi do przyspieszenia szybkości reakcji enzymatycznych. Jeśli mikrofały pobudzają przebieg procesów biochemicznych, to w przypadku przechowywanej

bulwy ziemniaka, powinny skutkować, nie tylko zwiększeniem dynamiki procesu kiełkowania, ale również przyspieszać powinny procesy oddychania i transpiracji. Mechanizm taki powinien pociągnąć za sobą zwiększenie ubytków naturalnych wynikłych z funkcji życiowych rośliny. Jak zatem wytłumaczyć uzyskany w trakcie prezentowanego doświadczenia wynik w którym napromieniowane mikrofalami bulwy ziemniaka cechowały się, w porównaniu z próbą kontrolną, mniejszymi ubytkami masy? Na obecnym etapie badań mechanizmów takiego działania promieniowania mikrofalowego można poszukiwać poprzez relacje w wielkościach ubytków naturalnych powodowanych transpiracją i oddychaniem bulwy ziemniaka. W początkowej fazie przechowywania (bezpośrednio po zbiorze) bulwy ziemniaka tracą w ciągu 7 dni około 7 mg wody a po miesiącu już tylko około 2 mg (na 1 m² perydermy) (Gabriel 1974). Dysproporcja ta podyktowana jest stopniem dojrzałości (skorkowacenia) skórki co wpływa na dynamikę parowania wody z bulwy. Proces ów uzależniony jest w dużej mierze od temperatury otoczenia, prężności pary wodnej i wilgotności a więc ma charakter zjawiska fizycznego. Przechowywana bulwa ziemniaka, poprzez przetchlinki (będące zmodyfikowanymi aparatami szparkowymi), dokonuje z otoczeniem wymiany gazowej oraz transpiruje. Jedną z reakcji roślin na stresy abiotyczne jest aktywowanie mechanizmów obronnych. W przypadku podwyższonej temperatury będzie to ograniczenie procesów transpiracji i oddychania. Biorąc pod uwagę termiczny efekt działania mikrofal można przyjąć, że taki (opisany powyżej) proces zachodzi w napromieniowanej bulwie ziemniaka. Skutkiem takiego działania będzie ograniczenie ubytków naturalnych bulwy ziemniaka, a zatrzymana w tym procesie woda będzie wpływała na zwiększenie masy bulwy. Promieniowanie mikrofalowe może również wpływać na zmianę masy bulwy ziemniaka poprzez modyfikację samego procesu oddychania rośliny. Oddychanie bulwy przebiega w wyniku rozkładu substancji zapasowej (skrobi) przy udziale oksydazy cytochromowej i polifenolowej (Gabriel 1974).

Reasumując, stwierdzić można, że w przyjętych warunkach doświadczenia, mikrofały działały na przechowywane bulwy ziemniaka jak inhibitor procesów oddychania i transpiracji poprzez co zmniejszeniu uległa wielkość ubytków naturalnych. Jeśli promieniowanie dodatkowo modyfikowało również i proces reakcji biochemicznych zachodzących w przechowywanej bulwie ziemniaka to w tym przypadku mikrofały mogły działać jako aktywator kiełkowania (oddziaływać na intensywność podziału komórek). Tak przedstawiony mechanizm działania mikrofal może skłaniać również do stwierdzenia, że promieniowanie to w początkowej fazie przechowywania bulw ziemniaka hamuje proces oddychania, a w dalszych etapach, w momencie rozpoczęcia kiełkowania stymuluje proces hydrolizy substancji zapasowej. Podobne informacje, dotyczące jednak wpływu promieniowania jonizującego (promieniowanie Roentgena oraz radioaktywnego kobaltu Co⁶⁰) na rośliny ziemniaka, można odna-

leżć w pracach Gabriela (1974) i Nowotnego (1972). Z powyższych prac wynika, że napromieniowanie bulw ziemniaka dawkami promieniowania jonizującego w ilości 5000-20000 rentgenów hamuje ich proces oddychania. Pozytywny efekt stosowania metod fizycznych w odniesieniu do materiału siewnego, w postaci większego wigoru nasion, został również zaprezentowany w pracach Hirota i in. (1999), Vasilevski i in. (2003), Yi-Peng i in. (2005), Qin i in. (2006) oraz w pracach polskich badaczy Pietruszewskiego i in. (2002), Podleśnego i in. (2004, 2007) i Drodzy i in. (2004).

WNIOSKI

1. Promieniowanie mikrofalowe w przyjętych w doświadczeniu czasach ekspozycji istotnie modyfikuje (zmniejsza) ubytek masy przechowywanych bulw ziemniaka odmian Felka Bona, Rosara i Velox.
2. Przyjęte w doświadczeniu odmiany ziemniaka wykazały zróżnicowaną reakcję na napromieniowanie mikrofalami reprezentowane przez wielkość ubytków masy bulw w trakcie przechowywania.
3. Napromieniowanie bulw ziemniaka mikrofalami w czasach 10 i 20 s przyniosło podobny efekt w postaci wielkości ubytków masy w trakcie przechowywania.

PIŚMIENNICTWO

- Drozd D., Szajsner H., Bieniek J., Banasiak J., 2004. Wpływ stymulacji laserowej na zdolność kiełkowania i cechy siewek różnych odmian owsa. *Acta Agrophysica*, 4(3), 637-643.
- Gabriel W., 1974. *Ziemniak*. PWRiL, 257-268.
- Hirota N., Nagagawa J., Kitazawa K., 1999. Effects of a magnetic field on the germination of plants, *J. Applied Physics*, vol. 85, 8. 5717-5719.
- Jakubowski T., 2008a. Wpływ promieniowania mikrofalowego na wybrane wskaźniki oceny przechowalniczej bulw ziemniaka. *Acta Agrophysica*, 12(2), 357-366.
- Jakubowski T., 2008b. Wpływ napromieniowania mikrofalowego na dynamikę wzrostu kiełków bulwy ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 5(103), 7-13.
- Jakubowski T., 2009a. Wpływ napromieniowania mikrofalami bulw ziemniaka na zawartość niektórych związków biochemicznych i suchej masy. *Inżynieria Rolnicza* nr 1(110), s. 123-129
- Jakubowski T., 2009b. Efekt cieplny mikrofalowego ogrzewania bulwy ziemniaka. *Acta Agrophysica* 171, vol. 14(2), 345-354.
- Jakubowski T., 2009c. Modelowanie przyrostu temperatury bulwy ziemniaka w trakcie jej mikrofalowego ogrzewania. *Inżynieria Rolnicza* 9(118) - w trakcie wydania.
- Krzysztofik B., 2008. Wpływ miejsca przechowywania na zmiany cech jakościowych bulw ziemniaka. *Acta Agrophysica*, 11(2), 449-456.
- Marks N., Lipiec J., Jakubowski T., 2005. Ocena przydatności metod fizycznych do zwalczania przechowalniczych chorób bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 7(67), 169-175.
- Marks N., Jakubowski T., 2006. Wpływ promieniowania mikrofalowego na trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 6(81), 57-64.
- Mika T., Kasprzak W., 2004. *Fizykoterapia*. PZWL Warszawa. ISBN: 8320029856.

- Nowotny F., 1972. Technologia przetwórstwa ziemniaczanego. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- Qin H.L., Xue J.M., Lai J.N., 2006. Energy related germination and survival rates of water-imbibed Arabidopsis seeds irradiated with protons. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 245: 314–317.
- Pietruszewski S., Komarzyński K., Prokop M., 2002. Kiełkowanie nasion cebuli odmiany Sochaczewska w stałym polu magnetycznym. Acta Agrophysica, 62, 69-74.
- Podleśny J., Podleśna A., 2004. Wpływ traktowania nasion polem magnetycznym na wzrost, rozwój i dynamikę gromadzenia masy bobiku (*Vicia faba minor*). Acta Agrophysica, 4(3), 787-801.
- Podleśny J., Pietruszewski S., 2007. Wpływ stymulacji magnetycznej nasion na wzrost i plonowanie grochu siewnego uprawianego przy różnej wilgotności gleby. Inżynieria Rolnicza, 8(96), 207-212.
- Sęk T., Przybyły J., 2004. Zbiór, obróbka i przechowalność roślin okopowych. Wydawnictwo AR Poznań, ISBN 83-7160-383-5.
- Sobol Z., 2005a. Określenie strat ilościowych bulw ziemniaka, cz.1. Straty spowodowane kiełkowaniem. Inżynieria Rolnicza, 10(70), 341-348.
- Sobol Z., 2005b. Określenie strat ilościowych bulw ziemniaka, cz.2. Ubytki naturalne. Inżynieria Rolnicza, 10(70), 349-357.
- Sowa-Niedziałkowska G., 2002. Wpływ naturalnych sposobów ograniczających intensywność przemian ilościowych w bulwach ziemniaka w czasie przechowywania. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. 489, 355-363.
- Vasilevski G., 2003. Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. Bulg. J. Plant Physiol., Special Issue, 179-186.
- Willers H. C., Have P. W., Deriks P. J. L., Arts M. W., 1993. Bioresource Technology 43, 47-61.
- Yi-Ping Chena, Ming Yuea, Xun-Ling Wanga, 2005. Influence of He-Ne laser irradiation on seeds thermodynamic parameters and seedlings growth of *Isatis indogotica*. Plant Science, 168, 601-606.

EFFECT OF STORAGE ON MASS LOSS OF POTATO TUBERS IRRADIATED WITH MICROWAVES

Tomasz Jakubowski

Institute of Machinery Exploitation, Ergonomics and Production Processes
Agricultural University of Krakow
ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków
e-mail: tjakubowski@ar.krakow.pl

Abstract. The aim of this study was to determine the mass losses of potato tubers irradiated with microwaves in the successive stages of storage. The study was conducted in 2006-2008 with the use of three very early varieties of potatoes: Felka Bona, Rosara and Velox. The experiment was based on the use of a device with a power of 100 watts, generating microwave radiation frequency of 2.45 GHz. The obtained test results indicate that, at the exposure times (10, 20 and 60 s) adopted in the experiment, microwave radiation significantly modifies (reduces) the mass loss of stored potato tubers.

Keywords: potato, microwave, storage, losses