

WPLYW SUSZENIA SUBLIMACYJNEGO NA WYBRANE WLAŚCIWOŚCI MECHANICZNE PIECZAREK

Ryszard Kramkowski, Bogdan Stępień, Krzysztof Banasik

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań pracy ściskania i pracy przecinania suszu uzyskanego podczas suszenia sublimacyjnego pieczarek. Zamrażanie surowca następowало z szybkością $0,5 \text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$ do temperatury -20°C . Suszenie sublimacyjnie prowadzono z zastosowaniem zarówno radiacyjnego, jak i kontaktowego sposobu dostarczania ciepła, stosowano każdorazowo temperatury płyty grzejnej 0, 20 i 40°C , przy stałej wartości ciśnienia równej 25 Pa. Zmiany zachodzące w kostkach pieczarek na skutek suszenia oceniano na podstawie porównania materiału świeżego oraz suszu poddanego rehydracji. Stwierdzono, że podczas suszenia sublimacyjnego zachodzą wyraźne zmiany badanych cech wytrzymałościowych.

Słowa kluczowe: suszenie sublimacyjne, pieczarki, cechy wytrzymałościowe

WSTĘP

Technolodzy i konstruktorzy maszyn dla przemysłu spożywczego zwracają szczególną uwagę na właściwości mechaniczne materiału roślinnego, do których należą: odporność na uszkodzenia, wytrzymałość mechaniczna, opór krajania, twardość oraz sprężystość. Prowadzone w tym zakresie badania mają na celu poprawienie techniki zbioru oraz przetwarzania żywności tak, aby zapewnić coraz lepszą wydajność i wysoką jakość produktów. Równie ważnym czynnikiem inspirującym badania są rosnące wymagania konsumentów stawiane przetworzonym produktom.

Jedną z nowoczesnych metod utrwalania żywności jest suszenie sublimacyjne. Proces ten jest stosowany w celu ochrony materiałów biologicznych przed rozkładem. Polega ono na zamrożeniu wody zawartej w tych materiałach, a następnie usunięciu wytworzonego lodu przez sublimację, czyli przez przeprowadzenie lodu bezpośrednio w parę z pominięciem stanu ciekłego [Kawala i in. 1994].

Materiały biologiczne charakteryzują się budową komórkową, w której występują rozliczne formy anatomiczne. Komplikuje to związki zachodzące między siłami działającymi na materiał a jego odkształceniem, co powoduje zmienność właściwości mechanicznych [Kramkowski i in. 2001a].

Do negatywnych przemian związanych z procesem suszenia zalicza się skurcz, zmianę powierzchni wyrażającą się zasklepieniem porów, zmianę tekstury żywności oraz zmianę właściwości mechanicznych materiału. Wadami suszonej żywności jest wolna lub niecałkowita rehydracja, brak soczystości oraz zmiany w zabarwieniu i zapachu [Irzyniec i in. 1988, Witrowa-Rajchert 1999].

Większość produktów otrzymanych metodą suszenia sublimacyjnego w przemyśle spożywczym stosuje się jako składniki odpowiednich koncentratów zup, zestawów śniadaniowych lub obiadowych; w tym w szczególności mięsa, ryb, warzyw, grzybów i owoców, a także niektórych produktów cukierniczych [Le Loch-Bonazzi i in. 1992]. Proces ten stosowany również do preparowania kawy i herbaty, szczególnie dobrze nadaje się do utrwalania warzyw, takich jak pietruszka, seler i koper, a także do suszenia twarogu, jaj oraz czosnku [Kramkowski 1998].

Celem pracy było porównanie wartości pracy ściskania i przecinania pieczarek świeżych oraz poddanych suszeniu sublimacyjnemu, a także analiza wpływu temperatury płyty grzejnej oraz sposobu dostarczania ciepła na kształtowanie się tych prac.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w Laboratorium Agrofizyki Instytutu Inżynierii Rolniczej Akademii Rolniczej we Wrocławiu.

Do badań wybrano pieczarkę dwuzarodnikową, rasy heterozyjnej, typ grzybni M-203, rasy pośredniej U-1, która jest obecnie najczęściej uprawiana na Dolnym Śląsku. Do badań używano tylko grzybów z pierwszego rzutu. Bezpośrednio po zbiorze (bez konieczności przechowywania) pieczarki krojono w plastry o grubości 8 mm, a następnie wycinano z nich kostki o wymiarach 8×8×8 mm. Materiał pobierano wyłącznie z części kapeluszowej grzyba. Tak przygotowane próbki poddawano zamrożeniu w temperaturze około -20°C, a następnie poddawano suszeniu w suszarce sublimacyjnej OE-950, której schemat przedstawiono we wcześniejszych pracach [Kramkowski i in. 2001a, Kramkowski i in. 2001b]. Suszenie prowadzono z zastosowaniem zarówno radiacyjnego, jak i kontaktowego dostarczania ciepła, dla temperatur płyty grzejnej 0, 20 i 40°C, przy stałej wartości ciśnienia równej 25 Pa.

Przed przystąpieniem do rehydracji przeprowadzono oznaczenie wilgotności surowego materiału. Ustalono, że średnia wilgotność próbek świeżych wynosiła 93%. Następnie wysuszony materiał poddawano rehydracji w wodzie destylowanej o temperaturze 20°C przez 180 min. Przez ten czas badano wilgotność próbek w odstępach 15-minutowych, co pozwoliło ostatecznie wybrać czas rehydracji równy 120 minut. Wilgotność była mierzona metodą suszarkowo-wagową w suszarce KC 100/200, masę próbek wyznaczono za pomocą wagi WPA 60/C z dokładnością ±0,1 mg.

Testy wytrzymałościowe zostały przeprowadzone przy użyciu maszyny wytrzymałościowej INSTRON 5566, zaopatrzonej w wymienne głowice tensometryczne, pozwalające mierzyć wartości sił nieprzekraczających odpowiednio 100 i 1000 N. Dokładność pomiaru punktu położenia głowicy wynosiła 0,05%.

Próbę ściskania materiału świeżego oraz rehydrowanego wykonywano płytą o średnicy 20 mm, zamocowaną w głowicy. Ściskanie materiału świeżego prowadzono do

momentu zniszczenia próbki (pęknięcie próbki). W trakcie ściskania materiału uwodnionego nie występowało zniszczenie objawiające się pęknięciem kostki, dlatego pracę ściskania obliczano dla odkształcenia próbki wynoszącego 4 mm, co stanowiło 50% jej początkowej wysokości. Wartości pracy ściskania obliczono, stosując metodę trapezów.

Przy próbie przecinania w głowicy zamocowano nóż o trójkątnym ostrzu, a na dolnym stole ustawiono przeciwostre. Wyniki pomiarów rejestrowano w formie plików komputerowych, które zawierały tablice danych z informacjami o wartościach sił i odkształceń w trakcie próby. Z tak zebranych punktów pomiarowych otrzymano wykresy przecinania. Wartość pracy przecinania odpowiada polu powierzchni pod krzywą utrzymaną na wykresie. Przy obliczaniu pracy przecinania zastosowano również metodę trapezów. W obliczeniach uwzględniano pracę potrzebną na pokonanie oporów mechanizmu tnącego. Zarówno próbę ściskania, jak i przecinania przeprowadzono w dziesięciu powtórzeniach dla każdego badanego przypadku (materiał świeży oraz rehydrowany po suszeniu w określonych warunkach).

WYNIKI I DISKUSJA

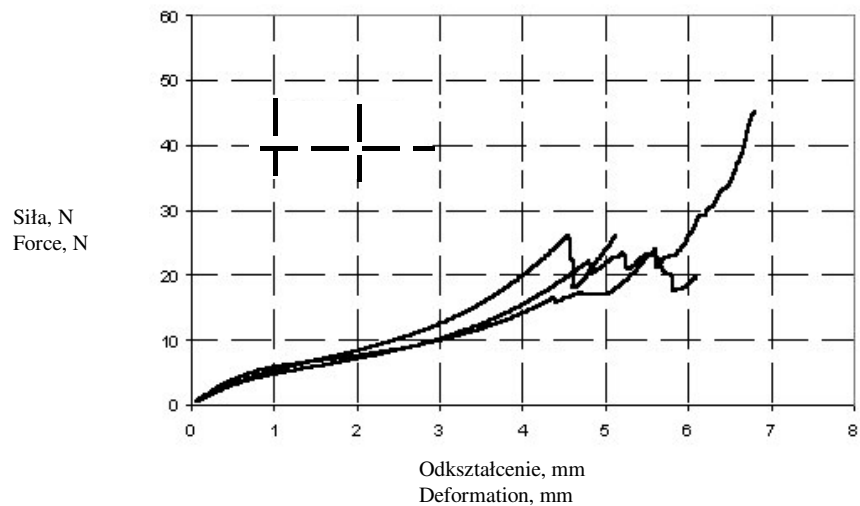
Wyniki badań i obliczeń przedstawiono w tabeli 1. Dla surowca wyznaczono następujące parametry: maksymalna siła niszcząca F_{max} , N, maksymalne naprężenie δ_{max} , MPa, praca ściskania P_{δ} , mJ i praca przecinania P_c , mJ. Natomiast dla uwodnionego suszu wyznaczono tylko wartości pracy ściskania P_{δ} , mJ i pracy przecinania P_c , mJ ze względu na brak występowania punktu zniszczenia w trakcie prób wytrzymałościowych.

Dla surowca możliwe wprowadzić było zaobserwowanie punktu płynności biologicznej (rys. 1), ale ze względu na łatwiejsze i czytelniejsze porównanie z materiałem rehydrowanym, wartość pracy ściskania obliczano także na drodze 4 mm, tj. 50% wysokości początkowej próbki. Pracę przecinania obliczono jako pracę potrzebną na przecięcie całej kostki badanego materiału. Na podstawie tabeli 1, a także na podstawie przykładowych wykresów ściskania płytą (rys. 1 i 2) można stwierdzić różnice w wytrzymałości kostek z pieczarek świeżych oraz uwodnionej po suszeniu sublimacyjnym. Przy obliczaniu wartości sił niszczących oraz prac ściskania i przecinania zostały pominięte skrajne wielkości, a pozostałe uśredniono. Różnice w wartościach odkształcenia i wielkościach sił niszczących można tłumaczyć niejednorodnością badanego materiału, a także występowaniem skurczu suszarniczego.

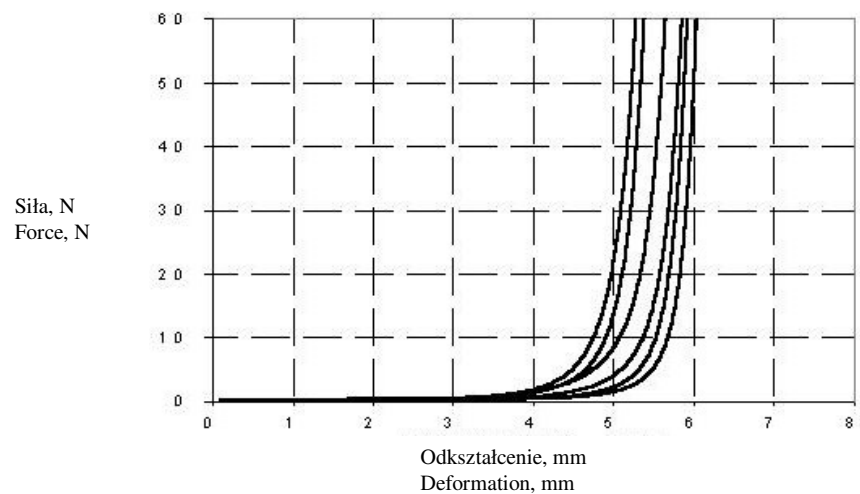
Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe wykresy testów ściskania próbek świeżych pieczarek, na których występuje punkt proporcjonalności, a także punkt płynności biologicznej. Zniszczenie próbki następowało przy odkształceniu w granicach 3–5 mm. Z tych wykresów wynika, że uzyskanie odkształcenia o wartości 4 mm wymaga kilkanaście razy większej siły w przypadku próbki ze świeżego materiału niż dla wysuszonej kostki po jej rehydracji (rys. 2).

Tabela 1. Wartości pracy ściskania i przycinania surowca oraz pieczarek wysuszonych sublimacyjnie dla wybranych temperatur płyty grzejnej
 Table 1. The values of compression and cutting work of raw materials and freeze-dried mushrooms

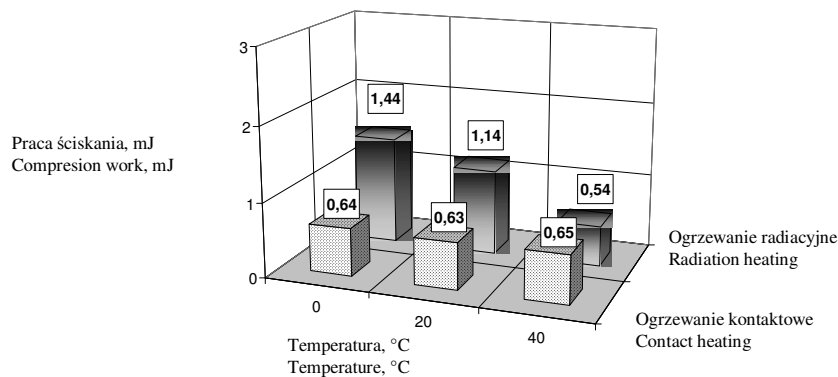
Lp	Surowiec – Raw material				Ogrzewanie kontaktowe – Contact heating						Ogrzewanie radiacyjne – Radiation heating					
					0°C		20°C		40°C		0°C		20°C		40°C	
	F _{max}	δ _{max}	P _{śc}	P _c	P _{śc}	P _c	P _{śc}	P _c	P _{śc}	P _c	P _{śc}	P _c	P _{śc}	P _c	P _{śc}	P _c
1	23,36	0,365	29,70	63,46	0,59	152,34	1,24	38,18	0,67	45,09	1,40	21,51	2,36	42,36	0,51	43,89
2	37,02	0,578	36,39	26,87	0,45	50,63	0,59	36,08	0,71	61,37	1,34	34,96	0,95	27,73	1,19	28,66
3	29,01	0,453	34,09	41,27	1,09	24,01	0,59	42,19	0,47	19,84	1,91	41,71	0,86	23,48	0,44	21,95
4	24,02	0,375	30,62	24,80	0,72	32,67	0,67	26,97	0,88	25,07	1,19	31,33	0,94	32,14	0,50	47,35
5	26,98	0,422	34,35	5,77	0,39	37,73	0,60	21,09	0,51	20,28	0,85	43,95	1,37	15,78	0,65	65,20
6	13,50	0,211	27,75	20,83	0,32	64,29	0,58	23,56	0,58	21,20	1,19	52,61	1,30	34,63	0,50	25,36
7	27,51	0,430	41,14	26,58	0,56	53,39	0,36	35,40	0,69	24,31	1,12	40,66	1,13	18,29	0,46	28,50
8	16,98	0,265	26,27	21,39	1,22	40,43	0,71	26,96	0,63	22,81	1,51	-	0,88	16,57	0,59	31,29
9	18,03	0,282	29,00	19,32	1,00	46,39	0,65	31,66	1,01	13,07	1,82	-	1,13	16,20	0,53	34,25
10	25,99	0,406	35,78	23,52	0,31	42,96	0,61	27,86	0,49	22,49	2,13	-	1,38	12,00	0,54	21,32
Średnio Mean	23,99	0,375	32,21	25,57	0,64	46,06	0,63	30,83	0,65	25,14	1,44	38,10	1,14	23,10	0,54	32,67



Rys. 1. Przykładowe krzywe ściskania świeżych pieczarek
Fig. 1. Exemplary compression curve of fresh mushrooms



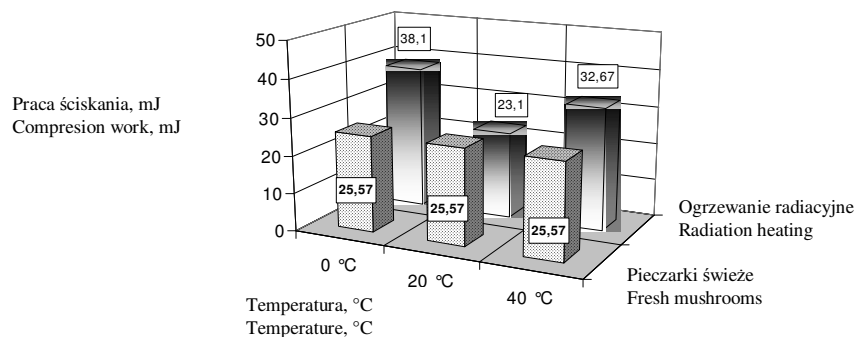
Rys. 2. Przykładowe krzywe ściskania pieczarek po rehydracji
Fig. 2. Exemplary compression curve of mushrooms after rehydration



Rys. 3. Średnie wartości pracy ściskania dla pieczarek przy radiacyjnym oraz kontaktowym dostarczaniu ciepła

Fig. 3. Average values of compression work of mushrooms at radiation and contact way of heat supply

Temperatura płyty grzejnej nie wpływała znacząco na wartości pracy ściskania przy kontaktowym sposobie dostarczania ciepła (rys. 3). Natomiast przy sposobie radiacyjnym wzrost temperatury płyty grzejnej powodował wyraźne zmniejszenie wartości pracy ściskania.

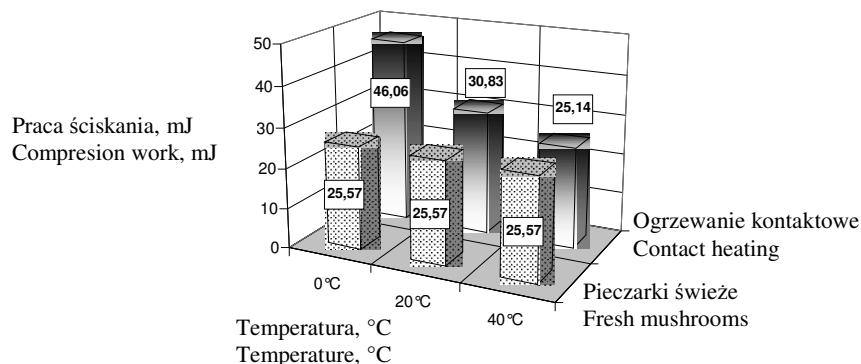


Rys. 4. Średnie wartości pracy przycinania dla pieczarek świeżych oraz wysuszonych sublimacyjnie przy radiacyjnym dostarczaniu ciepła

Fig. 4. Average values of cutting work for fresh and freeze-dried mushrooms at radiation way of heat supply

Z rysunku 4 wynika, iż przy radiacyjnym dostarczaniu ciepła najmniejsze wartości prac potrzebnych do przecięcie kostki zarejestrowano dla temperatury płyty grzejnej równej 20°C. Jednocześnie wartość ta jest najbardziej zbliżona do wartości pracy przycinania dla

pieczarek świeżych. Dla pozostałych temperatur płyty grzejnej (0 i 40°C) nakłady pracy na przecięcie kostek rehydrowanych są większe niż na przecięcie surowca.



Rys. 5. Średnie wartości pracy przecinania dla pieczarek świeżych oraz wysuszonych sublimacyjnie przy kontaktowym dostarczaniu ciepła

Fig. 5. Average values of cutting work for fresh and freeze-dried mushrooms at contact way of heat supply

Przy kontaktowym sposobie dostarczania ciepła (rys. 5) wyraźne różnice między wartościami pracy przecinania dla surowca i dla materiału uwodnionego po suszeniu sublimacyjnym uzyskano jedynie dla temperatury płyty grzejnej wynoszącej 0°C. Wzrost temperatury płyty grzejnej powoduje spadek wartości pracy przecinania dla materiału uwodnionego.

WNIOSKI

1. W przeprowadzonych testach ściskania dla wysuszonych sublimacyjnie, a następnie uwodnionych pieczarek nie jest możliwe wyodrębnienie punktu proporcjonalności oraz zakresu płynności biologicznej badanego materiału.
2. Nakłady pracy na deformację surowca są kilkadziesiąt razy większe niż przy materiale wysuszonym sublimacyjnie i następnie uwodnionym.
3. Wzrost temperatury płyty grzejnej podczas suszenia sublimacyjnego pieczarek powoduje wyraźne zmniejszenie wartości pracy ściskania przy ogrzewaniu radiacyjnym. Przy ogrzewaniu kontaktowym nie obserwowano tego wpływu.
4. Wzrost temperatury płyty grzejnej podczas suszenia sublimacyjnego pieczarek powoduje spadek wartości pracy przecinania przy kontaktowym dostarczaniu ciepła. Dla radiacyjnego sposobu dostarczania ciepła zaobserwowano minimum wartości pracy przecinania dla temperatury płyty grzejnej równej 20°C.

PIŚMIENNICTWO

- Goldblith S. A., Rey L., Rothmayr W. W., 1975. Freeze drying and advanced food technology. Academic Press London, New York, San Francisco.
- Irzyńiec Z., Klimczak J., Niedzielski Z., 1988. Temperatura suszenia jako parametr wpływający na jakość liofilizatu soku truskawkowego. *Chłodnictwo* 23, 3, 16–17.
- Kawala Z., Kramkowski R., Kapłon J., 1994. Badania suszenia sublimacyjnego wybranych produktów spożywczych. *Przem. Spoż.* 3, 134–137.
- Kramkowski R., 1998. Analiza suszenia sublimacyjnego wybranych surowców spożywczych. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 333.
- Kramkowski R., Gawlik P., Banasik K., Czachor G., 2001a. Kinetyka rehydracji wybranych warzyw korzeniowych suszonych sublimacyjnie. *Inż. Rol.* 12 (32), 137–143.
- Kramkowski R., Paślawska M., Peroń S., 2001b. Ocena wpływu suszenia sublimacyjnego na cechy wytrzymałościowe selera korzeniowego. *Inż. Rol.* 12 (33), 161–167.
- Le Loch-Bonazzi C., Wolff E., Gilbert H., 1992. Quality of rehydrated cultivated mushrooms. *Lebensm. Wiss. Technol.* 25, 334–339.
- Witrowa-Rajchert D., 1999. Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej podczas suszenia. Rozprawa habilitacyjna. SGGW Warszawa.

THE INFLUENCE OF FREEZE-DRYING PROCESS ON THE SELECTED MECHANICAL PROPERTIES OF MUSHROOMS

Abstract. The investigations of compression and cutting work of dried material obtained in result of freeze-drying process of mushrooms are presented. The freezing of raw material was carried out at 0,5°C min rate up to the temperature of -20°C. The freeze-drying process was performed with the application of heat supply both by radiation as well as by contact way. The temperature of heating plate were 0, 20, 40°C at constant pressure of 25 Pa. The changes in mushrooms cubicles in effect of drying process were evaluated by the compression of fresh material and the dried material subjected to rehydration. It has been stated that during the freeze-drying process, significant changes in the examined mechanical properties take place.

Key words: freeze-drying, mushrooms, mechanical properties

Ryszard Kramkowski, Bogdan Stępień, Krzysztof Banasik, Instytut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza we Wrocławiu, ul. Chelmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław