

ANALIZA SPOSOBÓW EKSPANDOWANIA NASION ORAZ WARZYW I OWOCÓW METODĄ PRZEMIANY FAZOWEJ WODY

Henryk Konopko

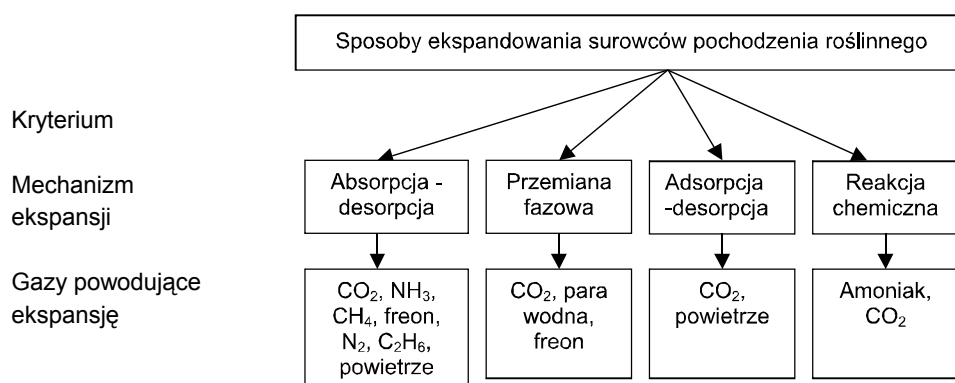
Katedra Techniki Ciepłej i Inżynierii Rolniczej, Politechnika Białostocka

Streszczenie. W pracy przedstawiono sposoby ekspandowania takich surowców pochodzenia roślinnego jak nasiona oraz warzywa i owoce. Analiza tych sposobów świadczy o dużym ich wpływie na stopień ekspansji surowców.

Słowa kluczowe: ekspandowanie, nasiona, owoce, warzywa

Wprowadzenie

Procesy ekspandowania wymagają uwolnienia lub ekspansji gazu wewnątrz produktu, dzięki różnicy ciśnień: wewnętrznego i zewnętrznego. Umożliwia to stworzenie wewnętrznej struktury, bądź też rozszerzenie lub rozerwanie istniejącej struktury. Podstawowe metody odpowiedzialne za wydzielanie się gazu w procesie ekspandowania surowców pochodzenia biologicznego przedstawia rysunek 1. Należy jednak zaznaczyć, że zarówno adsorpcji jak i reakcji chemicznej nie stosowano jak dotąd do ekspandowania rozważanych surowców roślinnych.



Rys. 1. Podział sposobów ekspandowania surowców pochodzenia roślinnego

Fig. 1. Division of expansion ways for plant products

Ekspandowanie może mieć na celu: uszlachetnienie żywności (poprzez wyeliminowanie antyżywnościowych składników, zwiększenie przyswajalności składników odżywczych oraz nadanie specjalnego smaku), wytworzenie produktów przeznaczonych do bezpośredniego spożycia, a w niektórych przypadkach (owoce i warzywa) również skrócenie czasu suszenia. Najczęściej używanym parametrem do oceny ekspandowanych produktów jest objętość ekspansji (ang. expansion volume):

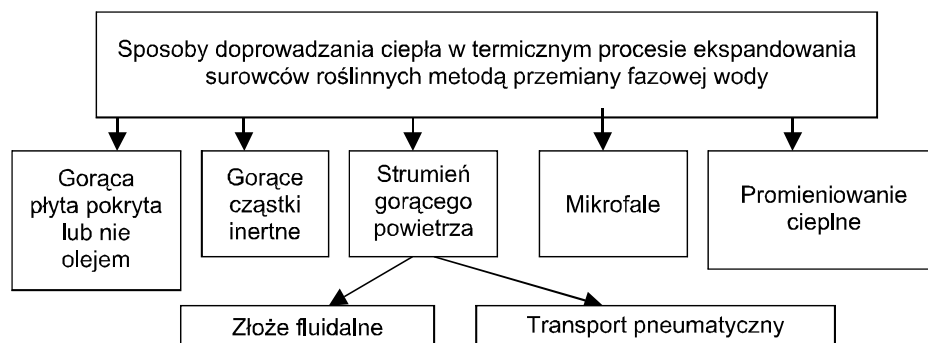
$$EV = \frac{\text{Całkowita objętość produktu}}{\text{Masa surowca}} \quad [\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}]$$

a dla nasion dodatkowo zawartość nieekspandowanych nasion w próbce. Poza tym nie może wystąpić obniżenie wartości żywieniowej produktu.

Celem pracy jest dokonanie analizy istniejących sposobów realizacji procesu ekspandowania metodą przemiany fazowej wody najważniejszych surowców roślinnych pod kątem uzyskania największych wartości tego parametru.

Analiza sposobów ekspandowania metodą przemiany fazowej wody

Przemiana fazowa jest najczęściej stosowaną i efektywną metodą, ponieważ wywołuje największe zmiany objętości. Najczęściej przemianie fazowej podlega woda będąca naturalnym składnikiem surowców roślinnych. Można wyróżnić dwie metody ekspandowania nasion oraz warzyw i owoców z przemianą fazową wody: z odpowiednio dużym strumieniem ciepła do surowca, w otoczeniu, którego panuje praktycznie stałe ciśnienie oraz z raptownym obniżeniem ciśnienia w otoczeniu surowca.



Rys. 2. Sposoby doprowadzania ciepła do surowca w termicznym sposobie ekspandowania surowców roślinnych

Fig. 2. The methods of heat supply to the product in thermal expansion way for plant products

W pierwszej z nich (ang. popping) na odpowiednio przygotowany surowiec oddziałuje tak duży strumień ciepła, że wewnątrz niego uzyskuje się przegrzaną wodę, która następnie

(po rozerwaniu okrywy nasiennej, a wskutek tego obniżeniu ciśnienia w otoczeniu ziaren skrobi stykających się od tego momentu z otoczeniem) zamienia się w parę wodną i dzięki temu powstaje porowata struktura. Można ją nazwać umownie termiczną. Sposoby doprowadzania ciepła do surowca przedstawia rysunek 2.

Stwierdzono [Schwartzberg i in., 1995], że ekspansja nasiona zachodzi bardzo szybko - czas ekspansji nie przekracza 0,2 s. Z tego względu można zaniedbać wymianę ciepła z otoczeniem zachodzącą podczas ekspansji. Z tych samych względów (b. krótki czas) przyjmuje się, że dwie przemiany (rozprężanie i sprężanie) gazu w obiegu Carnota dla silnika wysokoprężnego mają charakter adiabatyczny. Upoważnia to nas do przyjęcia, że ekspandowanie termiczne polega na adiabatycznej ekspansji pary wodnej i dlatego można ją opisać równaniem:

$$p(t)V(t)^{\kappa} = const \quad (1)$$

gdzie:

- p – ciśnienie wewnątrz nasiona (cząstki),
- V – objętość nasiona (cząstki),
- t – czas,
- κ – iloraz pojemności cieplnych przy stałym ciśnieniu oraz stałej objętości (dla pary wodnej $\kappa=1,3$).

Można również przyjąć, że dla każdego nasiona o objętości V_0 w określonych warunkach istnieje takie krytyczne ciśnienie wewnętrzne p_{kryt} , które jest w stanie rozerwać okrywkę i przy którym rozpoczyna się przemiana fazowa wody w parę wodną i jej adiabatyczna ekspansja. Po podstawieniu tych danych do równania przemiany adiabatycznej otrzymuje się:

$$p_{kryt} V_0^{\kappa} = const \quad (2)$$

W momencie, gdy nasiono kończy swoją ekspansję po upływie t_{eks} , ciśnienie w jego wnętrzu znowu wynosi p_0 . Można więc zapisać kolejne równanie:

$$p_0 V_{eks}^{\kappa} = const \quad (3)$$

Z równań (2) i (3) wynika, że objętość nasiona po ekspansji można obliczyć z zależności:

$$\frac{V_{eks}}{V_0} = \left(\frac{p_{kryt}}{p_0} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \quad (4)$$

Z równania tego wynika, że im większy jest iloraz ciśnienia krytycznego i otoczenia, tym większa jest objętość produktu. Zrozumiałe stają się więc dokonywane przez Wu i Schwartzberga [1992] próby zwiększenia ekspansji nasion poprzez ich pokrywanie specjalnymi otoczkami zwiększającymi wytrzymałość. Należy także zaznaczyć, że w przypadku nasion rozerwanie okrywy nasiennej nie powinno nastąpić przed osiągnięciem płynnego stanu skrobi. Z tego względu tylko niewielka grupa gatunków nasion nadaje się do termicznego ekspandowania. Bardzo ważne jest także, by nasiona miały najbardziej korzystną

(z punktu widzenia ekspansji) początkową wilgotność wynoszącą około 14% [Gokmen 2004]. Przemiana wody w parę jest przecież czynnikiem sprawczym ekspansji. Z drugiej strony nie może być jednak zbyt wysoka, gdyż powoduje to osłabienie okrywy nasiennej i przedwczesne jej rozerwanie, ze skutkiem wynikającym z równania (4). Z tego powodu istnieją duże trudności w skutecznym przeprowadzeniu procesu ekspandowania tych nasion, które posiadają zbyt słabą okrywę, a także krajanki warzyw i owoców, która przecież nie posiada żadnej okrywy. Z tego powodu większość obecnie prowadzonych prac badawczych skoncentrowana jest na poszukiwaniu takich sposobów wstępnej obróbki warzyw i owoców (blanszowanie, wstępne suszenie), które zwiększyłyby wytrzymałość ich tkanki do wystarczających wartości [Varnalis i in. 2001, 2004]. Ekspandowanie tych surowców następuje w złożu fluidyzowanym gorącym powietrzem.

Gorące cząstki materiału inertnego ogrzewają surowiec zbożowy w jednym z urządzeń opracowanych w firmie Procter & Gamble [Bedenk i Grabel 1970] w nachylonym skośnie do poziomu bębnie. Specjalna spiralna wstęga transportuje surowiec w górę bębna. Dodatkowe przegrody mieszają surowiec. Sam bęben jest ogrzewany przez zespół palników gazowych umieszczonych pod nim. Należy zaznaczyć, że wszelkie mechaniczne oddziaływania na surowiec (w analizowanym urządzeniu jest dużo) mogą go naruszyć, a to powoduje obniżenie tkryt, ze skutkiem jak wyżej.

Stosunkowo duża ilość prac badawczych jest poświęcona ekspandowaniu nasion przez ich ogrzewanie wysokoczęstotliwościowymi prądami w kuchenkach mikrofalowych. W dostępnej literaturze brak jest jakichkolwiek opisów urządzeń przemysłowych, w których stosowano by tę metodę. Pomimo tego, że jest to ogrzewanie stosunkowo b. równomierne, nie uzyskano [Gokmen 2004] w niej lepszych rezultatów niż przy ogrzewaniu strumieniem powietrza lub gorącą płytą. Nie wyjaśniono jak dotąd przyczyn tego zjawiska.

W ostatnich latach coraz szersze zastosowanie znajduje metoda ekspandowania surowców roślinnych przez strumień gorącego powietrza w złożu fluidalnym. Podstawowym elementem najbardziej rozpowszechnionego typu urządzenia do ekspandowania nasion w złożu fluidalnym [Hubbard i in. 1991] jest perforowany bęben. Potrzebne do sfluidyzowania i ekspandowania nasion powietrze, jest podgrzewane elektrycznie bądź gazem spalinowym do temperatury odpowiedniej dla danego surowca i następnie wtłaczane wentylatorem pod bęben. Przemieszczanie nasion wewnątrz bębna realizuje ślimak. Zastosowana w tym urządzeniu cylindryczna powierzchnia rusztu decyduje o tym, że złoże fluidalne ma zróżnicowaną wysokość. Powoduje to nierównomierny przepływ powietrza przez złoże, a to z kolei może spowodować nierównomierne ogrzewanie cząstek surowca.

We własnym rozwiązaniu konstrukcyjnym urządzenia fluidyzacyjnego [Konopko 2004] do ekspandowania surowców pochodzenia roślinnego podstawowym elementem jest pionowa cylindryczna obudowa zamknięta od góry stożkową pokrywą. Wewnątrz obudowy znajdują się dwie komory robocze. W jednej z komór zachodzi proces ekspandowania surowca sfluidyzowanego gorącym powietrzem. Cząstki surowca są w tej komorze przesuwane łopatkowym zgarniaczem i po wykonaniu około 270° obrotu zgarniacza spadają porcjami rurą zsykową do dolnej komory roboczej. Dolna komora (analogicznie zbudowana) służy do schładzania produktu świeżym powietrzem. Jedną z podstawowych zalet tego urządzenia jest realizowanie w jednej obudowie dwóch procesów: ekspandowania oraz schładzania. Poza tym płaska powierzchnia rusztu zapewnia równomierny przepływ gorącego powietrza przez złoże fluidalne cząstek surowca i ich równomierne ogrzewanie.

Nową metodą ekspandowania surowców roślinnych jest ich ogrzewanie podczas transportu pneumatycznego w strumieniu gorącego powietrza [Konopko 2004]. Osiągnięto w niej zadowalającą ekspansję nasion. Urządzenia takie odznaczają się bardzo prostą budową, dzięki czemu są tanie i łatwo jest w nich zachować higieniczne warunki produkcji.

Druga metoda (ang. explosion puffing) może polegać na: załadunku porcji surowca do naczynia ciśnieniowego, zamknięciu go, zwiększeniu do odpowiedniej wartości temperatury panującej wewnątrz niego, wskutek czego wzrasta również ciśnienie, a następnie raptownym otwarciu naczynia. Skutkiem raptownego zmniejszenia ciśnienia w otoczeniu surowca jest gwałtowna przemiana przegrzanej wody w parę wodną i utworzenie porowatej struktury produktu. Można tę metodę nazwać umownie termiczno-ciśnieniową.

Ekspandowanie wykorzystano do udoskonalenia suszenia warzyw i owoców. Zmodyfikowany proces technologiczny produkcji suszonych owoców i warzyw składał się z następujących kolejno po sobie operacji jednostkowych: mycia, sortowania, usuwania zbędnych części, krajania, blanszowania lub siarkowania, wstępnego suszenia, ekspandowania, wtórnego suszenia, sortowania i pakowania. Umożliwiło to znaczne skrócenie całkowitego czasu suszenia.

Podstawowe parametry procesu (ciśnienie, temperatura, wilgotność surowca, kształt i wymiary cząstek oraz czas ich przebywania w zbiorniku ciśnieniowym) są zależne od surowca (tab. 1).

Tabela 1. Parametry termiczno-ciśnieniowego procesu ekspandowania wybranych owoców i warzyw
Table 1. The parameters of thermal-pressure expansion process for selected fruit and vegetables

Surowiec	Ciśnienie [kPa]	Temperatura [°C]	Czas przebywania [s]	Kształt i wymiary cząstek [mm]	Wilgotność surowca [%]	Źródło
Ananas	83	166	60	Kostka	18	Kozempel, 1989
Banany	80-100	152-160	-	Plastry, 5-10	27-38	Saca, 1992
Buraki	276	163	120	Kostka, 9,5	20-26	Kozempel, 1989
Cebula	414	154	30	Plastry	15	Kozempel, 1989
Gruszki	228	154	60	Kostka, 9,5	18	Kozempel, 1989
Grzyby	193	121	39	Kostka, 8,0	20	Kozempel, 1989
Jabłka	117	121	35	Kliny	15	Sullivan, 1984
Jagody	103	190	39	Całe	18,5	Sullivan, 1982
Karpień	241	160	60	Kostka, 9,5	25	Kozempel, 1989
Marchew	131	188,6	49	Kostka, 9,5	31,4	Sullivan, 1981
Papryka	207	149	45	13×13×19	19	Kozempel, 1989
Seler	275	149	39	Kostka, 12,7	25	Kozempel, 1989
Truskawki	90	177	-	Całe	25	Kozempel, 1989
Ziemniaki	414-448	176	60	Kostka, 9,5	24,5-30	Sullivan, 1977, 1981
Żurawiny	138	163	64	Całe	24	Kozempel, 1989

Należy zaznaczyć, że zwiększenie ciśnienia powyżej podanych wartości może spowodować rozerwanie produktu. Również zwiększenie wilgotności surowca może spowodować podobne skutki. Z kolei obniżenie początkowej wilgotności może spowodować spalenie produktu przy zachowaniu tych samych wartości pozostałych parametrów. Natomiast zastosowanie zbyt niskiego ciśnienia powoduje uzyskanie zbyt małych wartości ekspansji cząstek surowca. Poza tym wilgotność surowca oraz ciśnienie muszą być skorelowane ze sobą.

Podsumowanie

1. Podstawowym czynnikiem sprawczym ekspansji zarówno nasion jak i warzyw oraz owoców jest adiabatyczne rozprężanie pary wodnej powstałej z przegrzanej wody wewnątrz surowca roślinnego.
2. Rozprężanie pary wodnej następuje wskutek różnicy ciśnień: wewnątrz surowca oraz w jego otoczeniu.
3. Wyróżnić można dwa podstawowe sposoby ekspandowania surowców roślinnych z przemianą fazową wody: termiczną - z wystarczająco szybkim jego podgrzaniem (co zapewnia niewielką utratę wody i jej przegrzanie, a także wzrost ciśnienia do wartości krytycznej) oraz ciśnieniowo-termiczną - z podgrzaniem surowca do ciśnienia o wartości krytycznej w zbiorniku ciśnieniowym, a następnie b. szybkim jego otwarciem.
4. Sposób ogrzewania surowca w metodzie termicznej ma wpływ na jego ekspansję.
5. Wiele prac wykonanych w ostatnich latach ma na celu optymalizację parametrów procesu pod kątem uzyskania możliwie największej ekspansji surowca, a jednocześnie wysokiej jego wartości żywieniowej. Inny ważny kierunek aktualnie prowadzonych badań to poszukiwanie sposobów wzmocnienia okrywy nasiennej lub wytrzymałości tkanki surowca w celu zwiększenia wartości temperatury krytycznej, przy której zaczyna się jego ekspansja.
6. Po dokonaniu analizy istniejących sposobów ekspandowania surowców roślinnych opracowano własne konstrukcje urządzeń do ekspandowania surowców roślinnych.

Bibliografia

- Gokmen S.** 2004. Effect of moisture content and popping method on popping characteristics of popcorn. *Journal of Food Engineering* vol. 65 p. 357-362.
- Konopko H.** 2004. Aparat fluidyzacyjny, zwłaszcza do ekspandowania jadalnych surowców i półproduktów roślinnych. Opis patentowy PL 187395 B1 A23N 12/00, B01J 8/28, F26B 17/10. Decyzja z dnia 30 czerwca 2004 r.
- Konopko H.** 2004. Analiza procesu ekspandowania nasion w przewodzie pneumatycznym. *Rozprawy Naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie. Wydział Inżynierii Produkcji Zeszyt 280* s. 98.
- Kozempel M.F., Sullivan J.F., Craig J.C., Konstance R.P.** 1989. Explosion puffing of fruits and vegetables. *Journal of Food Sciences* vol. 54 No 3 p. 772-773.
- Saca S.A., Lozano J.E.** 1992. Explosion puffing of bananas. *International Journal of Food Sciences and Technology* vol. 27 p. 419-426.

- Schwartzberg H.G., Wu P.J., Nussinowitch A., Mugerwa J.** 1995. Modelling deformation and flow during vapor-induced puffing. *Journal of Food Engineering* vol. 25 p. 329-372.
- Sullivan J.F., Craig J.C.** 1984. The development of explosion puffing. *Food Technology*. No 2, p. 52-55, 131.
- Sullivan J.F., Konstance R.P., DellaMonika E.S., Heiland W.K., Craig J.C.** 1981. Carrot dehydration – optimization process studies on the explosion-puffing process. *Journal of Food Sciences*. vol. 46 No 5 p. 1537-1540.
- Sullivan J.F., Craig J.C., Dekazos E.D., Leiby S.M., Konstance R.P.** 1982. Dehydrated blueberries by the continuous explosion-puffing process. *Journal of Food Sciences*. vol. 47 No 2 p. 445-448.
- Sullivan J.F., Craig J.C., Konstance R.P., Egoille M.J., Aceto N.C.** 1977. Continuous explosion-puffing of potatoes. *Journal of Food Sciences*. vol. 42 No 6 p. 1462-1463, 1470.
- Wu P.J., Schwartzberg H.G.** 1992. Popping behavior and zein coating of popcorn. *Cereal Chemistry*. vol. 69 p. 567-573.
- Bedenk W.T., Grabel L.** Apparatus and process of puffing. Patent USA 3,680,473.

Publikację opracowano w ramach realizacji pracy własnej W/WM/3/07.

THE ANALYSIS OF EXPANSION WAYS FOR SEEDS AND VEGETABLES AND FRUIT USING WATER PHASE TRANSITION METHOD

Abstract. The paper presents expansion ways for plant products including seeds and vegetables and fruit. Completed analysis of these expanding ways proves their substantial impact on the products expansion degree.

Key words: expansion, seeds, fruit, vegetables

Adres do korespondencji:

Henryk Konopko; e-mail: hekon@pb.edu.pl
Katedra Techniki Ciepłej i Inżynierii Rolniczej
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45C
15-351 Białystok