

WPŁYW METODY SUSZENIA NA WYBRANE CECHY MECHANICZNE MARCHWI PO PONOWNYM UWODNIENIU

Bogdan Stępień

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Celem pracy jest określenie wpływu trzech metod suszenia: konwekcyjnego (SK), sublimacyjnego (SS) i mikrofalowo-podcisnieniowego (SMP) na wartości pracy ściskania i wartości pracy przecinania marchwi ponownie uwodnionej. Badano wpływ blanszowania (BL) i odwadniania osmotycznego (OS) na odporność materiału na ściskanie i na przecinanie. Marchew po ponownym uwodnieniu charakteryzuje się obniżoną odpornością na ściskanie i podwyższoną odpornością na przecinanie w stosunku do surowca. Cechy mechaniczne zależą od wielkości ubytków rozpuszczalnych składników suchej substancji występujących podczas rehydracji i od stopnia zachowania pierwotnej struktury komórkowej.

Słowa kluczowe: marchew, suszenie, rehydracja, cechy mechaniczne

Wprowadzenie i cel badań

Surowce oraz półprodukty pochodzenia rolniczego należą do grupy materiałów bardzo wrażliwych na obróbkę termiczną. Większość konwencjonalnych metod suszenia polega na dostarczeniu do materiału odpowiednio dużej ilości energii cieplnej, aby woda znajdująca się wewnątrz tkanek przeszła w stan gazowy i w takiej formie została usunięta. Jednakże usuwanie wody ze świeżego produktu spożywczego wiąże się z licznymi konsekwencjami. Do pozytywnych należą: możliwość długotrwałego przechowywania, zmniejszenie masy i objętości czy poprawienie właściwości technologicznych. Do negatywnych należą: zmiany struktury wewnętrznej, pogorszenie właściwości sensorycznych, zmiany składu chemicznego.

Suszenie konwekcyjne jest uznawane za metodę najbardziej destrukcyjną, mocno pogarszającą jakość produktu w stosunku do jakości surowca. Posiada jednak szereg zalet, które decydują o jego szerokim wykorzystaniu w przemyśle spożywczym. Suszenie konwekcyjne jest metodą stosunkowo tanią, o dobrze poznanych podstawach teoretycznych [Pabis 1982; Janowicz 1999]. Produkty najbardziej wrażliwe można suszyć w warunkach ekstremalnych polegających na zamrożeniu surowca, a następnie usuwaniu wilgoci poprzez sublimację lodu w próżni. Suszenie sublimacyjne należy do grupy najbardziej zachowawczych metod utrwalania żywności [Kramkowski 1998]. Suszenie mikrofalowe pod obniżonym ciśnieniem pozwala suszyć materiał w niższych temperaturach, przez co znacznie poprawia się kolor, tekstura i zapach produktu. Metoda ta szczególnie nadaje się do odwadniania warzyw i owoców o dużej zawartości cukru [Mui i in. 2002; Sham i in. 2001].

Blanszowaniem jest zabiegiem, którego główny cel polega na zabezpieczeniu surowca przed wystąpieniem niekorzystnych zmian wynikających z aktywności enzymów. Inaktywacja enzymów tkankowych następuje poprzez termiczną denaturację ich nośników białkowych. Ponadto ogranicza się zanieczyszczenia mikrobiologiczne suszy, usuwa powietrze z przestrzeni międzykomórkowych, usuwa niektóre niepożądane składniki, np. zapachowe oraz skraca czasu gotowania produktu. Odwadnianie osmotyczne jest zabiegiem wykorzystującym występowanie ciśnienia osmotycznego między dwoma ośrodkami oddzielonymi ścianami półprzepuszczalnymi i wypełnionymi roztworami o różnym stężeniu. Woda dyfunduje z ośrodka o niższym stężeniu do ośrodka o wyższym poziomie energetycznym. Proces trwa do momentu ustalenia się ciśnienia równowagi nazywanego ciśnieniem osmotycznym.

Liczne badania opisane w literaturze wskazują na istotny wpływ zabiegów wstępnych oraz technik suszenia na cechy suszy [Janowicz 1999; Mui i in. 2002; Sham i in. 2001; Stępień 2008]. Właściwości materiałów rehydrowanych są przez większość badaczy pomijane, a mogą one decydować o akceptacji bądź rezygnacji z danego produktu spożywczego. Ze względu na różne mechanizmy usuwania wody z materiałów o strukturze tkankowej, należy oczekiwać, że zmiany struktury wewnętrznej materiałów wysuszonych, a następnie ponownie uwodnionych spowodują istotne zmiany w zakresie cech mechanicznych.

Celem badań było opisanie wpływu blanszowania i odwadniania osmotycznego jako zabiegów wstępnych przed suszeniem konwekcyjnym, sublimacyjnym i mikrofalowym w warunkach obniżonego ciśnienia na wartości pracy ściskania i wartości pracy przecinania marchwi po ponownym uwodnieniu.

Metodyka badań

Materiałem badawczym były korzenie marchwi odmiany *Cezaro* o znanych warunkach uprawy, zbioru i magazynowania. Przed przystąpieniem do badań surowiec myto i krojono na plastry o średnicy $d=20$ mm i wysokości $h=5$ mm. Cały materiał dzielono na trzy części: część I przeznaczono do suszenia bez zabiegów wstępnych (BO), część II blanszowano (BL) w wodzie o temperaturze $95^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ przez 3 minuty, część III odwadniano osmotycznie (OS) w 5% roztworze NaCl przez 24 godziny. Marchew suszono przy użyciu następujących technik:

- konwekcyjnie (SK) – temperatura czynnika suszącego 50°C , prędkość przepływu powietrza $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, pojedyncza warstwa materiału,
- sublimacyjnie (SS) – szybkość zamrażania $1^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, ciśnienie w komorze suszenia 100 Pa, temperatura płyty grzejnej 20°C , kontaktowy sposób dostarczania ciepła,
- mikrofalowo-podciśnieniowo (SMP) - amplitudowe sterowanie magnetronów, moc magnetronów 480 W, ciśnienie w komorze suszenia w zakresie 4-10 kPa.

Rehydrację marchwi wykonano zgodnie z metodą opisaną przez Witrową-Rajchert [1999] i obliczono ubytki rozpuszczalnych składników suchej substancji jako iloraz masy suchej próbki po określonym czasie uwadniania do masy suchej próbki przed rehydracją.

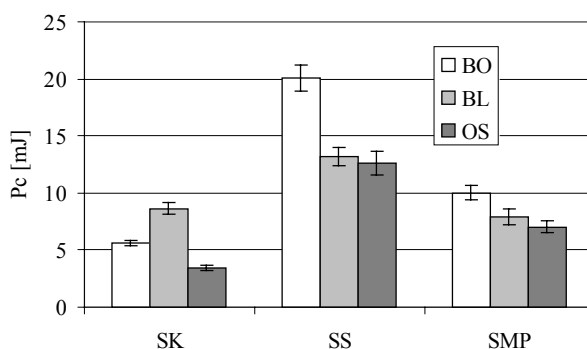
Cechy wytrzymałościowe badano wykorzystując maszynę wytrzymałościową Instron 5566. Wykonano następujące testy:

- ściskanie – ścisniano tłokiem warstwę plastrów umieszczonych w cylindrze o wysokości 30 mm, przystawka własnej konstrukcji, głowica klasy 0,5 o zakresie pomiarowym 0-100 N, prędkość przesuwu głowicy $1,8 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, odkształcenie próbki o 20% wysokości początkowej,
- przecinanie – przecinano pojedyncze plastry, przystawka firmy Instron, głowica klasy 0,5 o zakresie pomiarowym 0-1 kN, kąty ostrza i rozwarcia noża po 60° , prędkość przesuwu głowicy $10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Wykonano po 10 powtórzeń pomiarów. Strukturę wewnętrzną obserwowano w mikroskopie skaningowym firmy „Opton” typ LEO 435 VP wykonując zdjęcia o stałym powiększeniu obrazu wynoszącym $\times 700$.

Analiza wyników

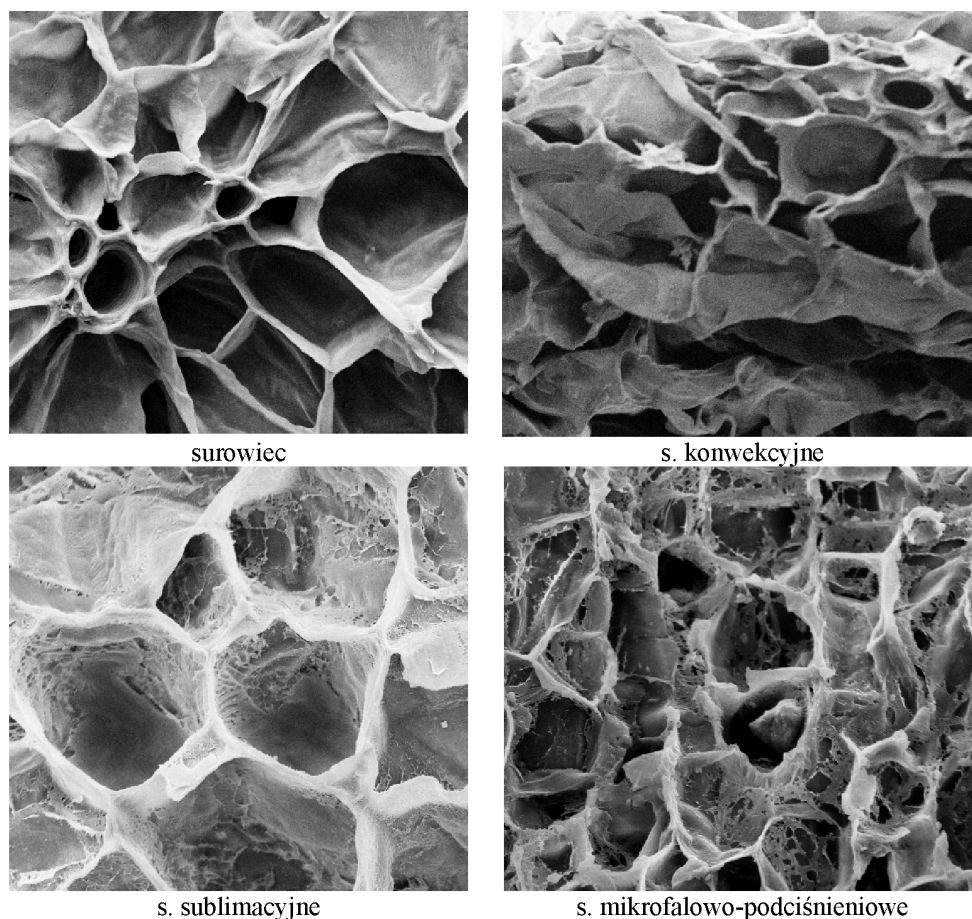
Charakterystyki przebiegu krzywych ściskania marchwi uwodnionej po suszeniu różnymi metodami i przy uwzględnieniu blanszowania i odwadniania osmotycznego jako zabiegów wstępnych są w każdym badanym przypadku bardzo zbliżone. Różnią się jedynie wartościami sił maksymalnych oraz kątem nachylenia. Jest to zbliżone z wynikami badań uzyskanymi przez Jakubczyk i Uziaka [2005] dla innych warzyw i owoców. Za najlepszy wskaźnik wielkość „oporu” jaki stawiają poszczególne materiały podczas ich odkształcania uznano wartość pracy ściskania, obliczoną metodą trapezów [Stępień 2008]. Na rysunku 1 przedstawiono wartości średnie pracy ściskania. Wykres wskazuje na istotny wpływ zarówno metody suszenia jak i obróbki wstępnej na odporność na ściskanie marchwi ponownie uwodnionej. Zarówno blanszowanie, jak i odwodnienie osmotyczne surowca przed SS lub SMP, powoduje istotne obniżenie wartości pracy wkładanej w proces ściskania.



Źródło: badania własne Autora

Rys. 1. Wartości pracy ściskania marchwi ponownie uwodnionej po suszeniu
Fig. 1. Compression work values for carrot rehydrated after drying

Wysoka temperatura blanszowania powoduje częściowe rozpuszczenie blaszki środkowej, co stwarza możliwość przesuwania się względem siebie sąsiednich komórek podczas oddziaływania sił zewnętrznych. Z tego powodu, w trakcie ściskania, występują niższe wartości sił.



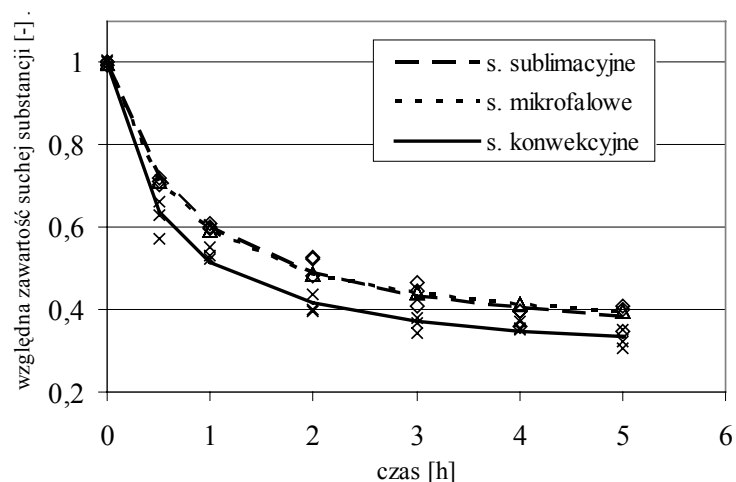
Źródło: zdjęcia własne Autora

Rys. 2. Struktura wewnętrzna marchwi po rehydracji – surowiec odwodniony osmotycznie
 Fig. 2. Internal structure of carrot after rehydration – raw material dehydrated by osmosis

Odwodnienie osmotyczne jest związane z wnikaniem kryształków NaCl do wnętrza struktury komórkowej powodując jej liczne nieciągłości. Występowanie tego zjawiska obserwowano na zdjęciach mikroskopowych zaprezentowanych na rysunku 2. Komórki marchwi odwodnionej osmotycznie przed SS i SMP charakteryzują się wieloma pęknięciami, które nie są widoczne na zdjęciach wykonanych dla suszy, ale pojawiają się dopiero w strukturze materiałów po uwodnieniu.

Wpływ metody suszenia...

Marchew suszona konwekcyjnie charakteryzuje się obniżoną wytrzymałością na ściskanie w stosunku do wytrzymałości produktów uzyskanych pozostałymi dwoma metodami, bez względu na zastosowane zabiegi wstępne. Wynika to z destrukcyjnego oddziaływania na strukturę biologiczną samej metody odwadniania, na co wskazują również inni badacze [Lin i in. 1999; Gawalek 2005]. Istotnym wskaźnikiem mówiącym o stopniu degradacji struktury komórkowej suszy są ubytki rozpuszczalnych składników suchej substancji występujące podczas rehydracji.



Źródło: badania własne autora

Rys. 3. Zmiany względnej zawartości suchej substancji podczas rehydracji marchwi na przykładzie materiału odwodnionego osmotycznie przed suszeniem

Fig. 3. Changes in relative dry substance content during carrot rehydration on the example of material dehydrated by osmosis before drying

Tabela 1. Względna zawartość suchej substancji w trakcie rehydracji marchwi

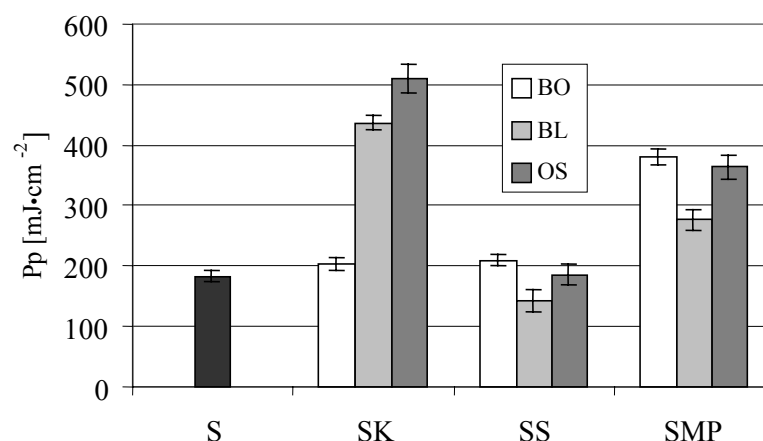
Table 1. Relative dry substance content during carrot rehydration

	Suszenie konwekcyjne SK			Suszenie sublimacyjne SS			Suszenie mikrofalowo- -podciśnieniowe SMP		
	BO	BL	OS	BO	BL	OS	BO	BL	OS
Wartość równowagowa	0,31	0,38	0,27	0,33	0,37	0,29	0,29	0,37	0,31
Błąd standardowy estymacji	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02
Współczynnik determinacji R^2	0,992	0,989	0,990	0,989	0,984	0,989	0,971	0,983	0,989

Źródło: badania własne Autora

Rysunek 3 jednoznacznie wskazuje, że z suszu marchwiowego uzyskanego metodą konwekcyjną z surowca odwodnionego osmotycznie, w trakcie uwadniania, do roztworu dyfunduje największa ilość suchej substancji. Osłabia to strukturę, co skutkuje mniejszymi wartościami pracy ściskania. Tabela 1, zawierająca wartości równowagowe odpowiadające ilości suchej substancji dyfundującej do wody przy nieskończone długim uwadnianiu, potwierdza tę zależność również dla pozostałych produktów.

Innym istotnym wskaźnikiem oceny jakości materiałów ponownie uwodnionych może być odporność na przecinanie wyrażona wartością pracy przecinania. W pierwszej fazie procesu, związanej z odkształcaniem próbki bez penetracji materiału, następuje prawie proporcjonalny wzrost wartości siły, aż do momentu rozpoczęcia zagłębiania się ostrza w materiale. Po chwilowym spadku wartości sił tnących następuje wzrost do charakterystycznej wartości maksymalnej. Można również wyodrębnić fazę docinania. Dla różnych materiałów występują różnice w przebiegu poszczególnych faz przecinania. W związku z tym, przyjęto, że wartość pracy przecinania obliczona metodą trapezów będzie najprostszym wyznacznikiem wytrzymałości na przecinanie marchwi uwodnionej. Na rysunku 4 przedstawiono średnie wartości pracy przecinania odniesione do 1 cm^2 pola przecinanej powierzchni.



Źródło: badania własne Autora

Rys. 4. Wartości pracy przecinania marchwi ponownie uwodnionej po suszeniu
Fig. 4. Cutting work values for carrot rehydrated after drying

Susze uwodnione po suszeniu sublimacyjnym charakteryzują się odpornością na przecinanie zbliżoną do surowca. W pozostałych przypadkach wartości pracy przecinania są znacząco wyższe. Blanszowanie i odwadnianie osmotyczne przed suszeniem konwekcyjnym powodują wzrost nakładów pracy w trakcie przecinania. Przy pozostałych dwóch metodach suszenia, odwadnianie osmotyczne nie zmienia wartości pracy przecinania, natomiast blanszowanie przyczynia się do niewielkiego spadku. Przyczyn takich zależności

należy upatrywać w inkrustacji ścian komórkowych podczas odwadniania osmotycznego oraz utwardzenia powierzchni marchwi podczas blanszowania. Wyniki jednoznacznie wskazują, że zarówno metoda suszenia jak i zabiegi wstępne w bardzo istotnym zakresie zmieniają odporność na przecinanie marchwi rehydrowanej.

Wnioski

1. Zarówno metoda suszenia jak i zabiegi wstępne blanszowania i odwadniania osmotycznego znacząco zmieniają odporność na ściskanie i na przecinanie marchwi ponownie uwodnionej.
2. Najniższą odpornością na ściskanie charakteryzuje się marchew uwodniona po SK, nieco wyższą materiał uwodniony po SMP, a najwyższą produkt uwodniony po SS. Odwodnienie osmotyczne lub blanszowanie surowca przed SS i SMP znacząco obniża wartość pracy potrzebnej do odkształcenia próbki.
3. Marchew uwodniona po SS charakteryzuje się wartościami pracy przecinania zbliżonymi do surowca. Przecinanie marchwi uwodnionej po SK lub SMP wymaga większych nakładów pracy. Proponowane zabiegi wstępne podwyższają wartości pracy przecinania marchwi uwodnionej po SK, a obniżają wartości pracy przecinania marchwi uwodnionej po SS lub SMP.

Bibliografia

- Gawalek J.** 2005. Wpływ warunków konwekcyjnego i sublimacyjnego suszenia korzeni marchwi na jakość suszu. *Inżynieria Rolnicza* Nr 11(71). s. 119-127.
- Janowicz L.** 1999. Transport ciepła i masy podczas konwekcyjnego suszenia jabłek. Praca doktorska. AR Wrocław. Maszynopis.
- Lin T.M., Drance T.D., Szaman Ch.H.** 1999. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International*. Vol. 31, No. 2. s. 111-117.
- Kramkowski R.** 1998. Analiza suszenia sublimacyjnego wybranych surowców spożywczych. *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu* Nr 333. Rozprawy CLIII. s. 11-20.
- Mui W.W.Y., Durance T.D., Scaman Ch.H.** 2002. Flavor and texture of banana chips dried by combinations of hot air, vacuum, and microwave processing. *J. Agric.Food Chem.*, v. 50(7). s. 1883-1889.
- Pabis S.** 1982. Teoria konwekcyjnego suszenia płodów rolniczych. PWRiL. Warszawa. ISBN 83-09-00597-0.
- Sham P.W.Y., Scaman Ch., Durance T.D.** 2001. Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety. *J. Food Sc.* vol. 66(9). s. 1341-1347.
- Stępień B.** 2008. Impact of vacuum-microwave drying on selected mechanical and rheological features of carrot. *Biosystems Engineering* 99. s. 234-238.
- Witrowa-Rajchert D.** 1999. Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Fundacja "Rozwój SGGW". Warszawa. s. 25-29.

THE IMPACT OF DRYING METHOD ON SELECTED MECHANICAL PROPERTIES OF CARROTS AFTER RE-HYDRATION

Abstract. The purpose of the work is to determine the impact of three drying methods: convection (SK), sublimation (SS) and microwave-vacuum (SMP) on the values of compression work and cutting work for rehydrated carrot. The scope of the research included the impact of blanching (BL) and osmotic dehydration (OS) on material resistance to compression and cutting. Rehydrated carrot is characterised by reduced resistance to compression and higher resistance to cutting, compared to raw material. Mechanical properties depend on the amount of losses in dry substance soluble ingredients occurring during rehydration and on primary cellular structure maintenance level.

Key words: carrot, drying, rehydration, mechanical properties

Adres do korespondencji:

Bogdan Stępień; e-mail: bogdan.stepien@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chelmońskiego 37/41
51-630 Wrocław