

*Bogdan Stępień**, *Andrzej Michalski***

**Instytut Inżynierii Rolniczej*

***Katedra Matematyki*

Akademia Rolnicza we Wrocławiu

ZMIANY CECH MECHANICZNYCH ZACHODZĄCE W TRAKCIE PRZECHOWYWANIA SUSZONEJ PIETRUSZKI

Streszczenie

Wykonano badania suszenia sublimacyjnego pietruszki odmiany Eagle F1 przy zastosowaniu kontaktowego sposobu dostarczania ciepła, dla temperatury płyty grzejnej wynoszącej 20°C i przy ciśnieniu w komorze wynoszącym 100Pa. Suszono materiał blanszowany, odwodniony osmotycznie i nie poddany obróbce wstępnej. Obliczono wartości pracy ściskania oraz wartości pracy przecinania. Badania wykonano dla suszu oraz dla materiału uwodnionego. Analizę jakościową istotności wpływu obróbki wstępnej i czasu przechowywania suszu na cechy mechaniczne pietruszki wykonano w oparciu o wykresy zmiennej resztowej z modelu Anova.

Słowa kluczowe: suszenie sublimacyjne, korzeń pietruszki, obróbka wstępna, praca ściskania, praca przecinania

Wprowadzenie

Pietruszka jest rośliną jadalną i ozdobną, znaną na terenie Europy już od wielu wieków. Uprawiane są dwie formy tego gatunku: korzeniowa i naciowa. Korzeń, w zależności od odmiany, może być mniej lub bardziej wydłużony, cylindryczny a także zwężający się ku dołowi a średnica przy główce może dochodzić do 8cm [Kołota i in. 1994]. W 100g korzenia pietruszki znajduje się około 4,6g cukrów, 39mg witaminy C a także sole mineralne wapnia, fosforu, magnezu i żelaza. Olejki eteryczne występujące we wszystkich częściach rośliny nadają pietruszce specyficzny zapach [Borna 1977].

Suszenie sublimacyjne jest procesem odwadniania w stanie zamrożenia, który stosuje się do utrwalania materiałów biologicznych. Proces ten opiera się na zjawisku sublimacji lodu polegającym na tym, że w odpowiednich warunkach tempera-

tury i ciśnienia lód przechodzi bezpośrednio w parę z pominięciem stanu ciekłego. Porowatość oraz silna higroskopijność produktów suszonych sublimacyjnie wymagają, aby przechowywanie suszu odbywało się w opakowaniach hermetycznych bez dostępu powietrza [Świdzki 1999]. Liczne badania w zakresie optymalizacji parametrów suszenia sublimacyjnego mają na celu poprawienie ekonomiki procesu oraz poprawę jakości produktu. Jako kryteria oceny jakościowej najczęściej przyjmowane są: zachowanie barwy i kształtu, retencja związków zapachowych a także łatwość rehydracji [Lane i in. 1995].

Jakubczyk i Lewicki [2002] stwierdzili istotny wpływ obróbki wstępnej przed suszeniem konwekcyjnym na właściwości mechaniczne suszu z jabłek. Obróbka wapniowa powoduje zwiększenie odporności suszonych jabłek na ściskanie w stosunku do jabłek nie poddanych obróbce wstępnej przed suszeniem. Nie stwierdzono wpływu obróbki cieplnej na właściwości mechaniczne jabłek suszonych konwekcyjnie. Temperatura płyty grzejnej w trakcie suszenia sublimacyjnego ma istotny wpływ na przebieg procesu relaksacji naprężeń korzenia selera [Stępień i in. 2003]. Najniższe wartości modułów sprężystości oraz współczynników lepkości dynamicznej uzyskano przy temperaturze płyty grzejnej wynoszącej 20°C. Kramkowski i inni [2003] badali wpływ czasu przechowywania suszu z pieczarek na jego wytrzymałość na ściskanie. Zaobserwowali istotny wzrost wartości pracy ściskania dla suszu uzyskanego w trakcie suszenia sublimacyjnego, przy radiacyjnym sposobie dostarczania ciepła.

Metodyka badań

Do badań wytrzymałościowych wykorzystano pietruszkę odmiany Eagle F1. Próbkę przygotowano w formie walców o średnicy $d=20\text{mm}$ i wysokości $h=5\text{mm}$. Sublimacyjnie suszono surowiec oraz pietruszkę blanszowaną i odwodnioną osmotycznie. Blanszowanie surowca wykonano w wodzie o temperaturze $95^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ przez czas 3 minut. W trakcie procesu masa początkowa próbki zmniejszała się o $1,3 \div 1,5\%$. Do odwadniania osmotycznego wykorzystano 5% roztwór NaCl. Czas trwania odwadniania wynosił 24 godziny. Wilgotność pietruszki obniżono z 81% do 76%. Osuszone próbki zamrażano w temperaturze -20°C z szybkością $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Suszenie sublimacyjne wykonano wykorzystując suszarkę OF-950. Zastosowano następujące parametry suszenia: temperatura płyty grzejnej (20°C), ciśnienie w komorze suszenia (100Pa), kontaktowy sposób dostarczania ciepła.

Badania wytrzymałościowe wykonano na maszynie Intron 5566 z wymiennymi głowicami klasy 0,5. Wytrzymałość na ściskanie określano dla próbek umieszczonych w cylindrze i ścisanych tłokiem. Średnica tłoka była mniejsza od średnicy cylindra o 0,2mm co powodowało, że przesuwanie tłoka nie towarzyszyło tarcie.

Za każdym razem ściskano taką liczbę walców, aby utworzona warstwa miała wysokość równą 30 mm. Proces ściskania trwał do momentu odkształcenia warstwy walców o 20% jej wysokości początkowej. Prędkość zadawania obciążenia podczas ściskania wynosiła 1,8 mm/min.

Do badań wytrzymałości na przecinanie zastosowano przystawkę własnej konstrukcji o kątach ostrza i rozwarcia noża wynoszących po 60°. Przecinano pojedyncze próbki (walce) pietruszki. Prędkość noża wynosiła 10mm/min. Wartości pracy ściskania i przecinania obliczono metodą trapezów. Pracę ściskania suszu przeliczono na jeden jego gram.

Badania wytrzymałościowe wykonano dla suszu oraz dla materiału uwodnionego. Rehydrację wykonano w wodzie destylowanej o temperaturze 20°C. Czas rehydracji dobierano empirycznie tak, aby uzyskać wilgotność bliską wilgotności surowca. Wilgotność suszu oraz materiału uwodnionego wyznaczono poprzez suszenie próbek w suszarce KC 100/200, w temperaturze 105°C przez 48 godzin. Temperaturę oraz czas suszenia dobrano w sposób umożliwiający uzyskanie suchej masy. W oparciu o masę początkową próbki oraz masę suchą obliczono wilgotność. Badania wykonano bezpośrednio po suszeniu sublimacyjnym oraz dla materiału zapakowanego hermetycznie bez dostępu powietrza oraz światła i przechowywanego przez okres 6 i 12 miesięcy.

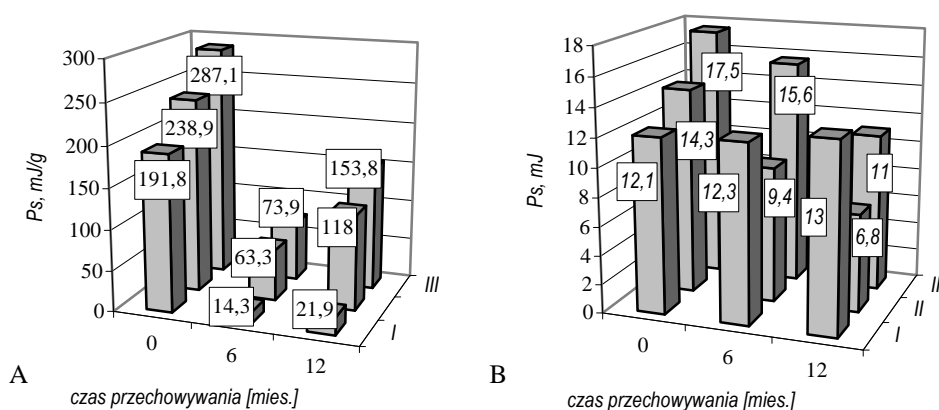
Cel pracy

Celem pracy było zbadanie wpływu obróbki wstępnej przed suszeniem sublimacyjnym oraz czasu przechowywania suszu na jakość uzyskiwanego produktu, na przykładzie korzenia pietruszki.

Analiza wyników

Wilgotność suszu bezpośrednio po suszeniu wynosiła od 4,5% dla pietruszki nie poddanej obróbce wstępnej do 7,9% dla pietruszki blanszowanej. Mimo zachowania warunków hermetycznych w trakcie przechowywania materiału badawczego jego wilgotność ulegała niewielkim zmianom. Obniżenie wilgotności pietruszki jedynie zwolniło przebiegi szeregu procesów biochemicznych, których jednym z produktów jest woda. Wytrzymałość na ściskanie surowca jest ponad 2-krotnie wyższa od wytrzymałości na ściskanie suszu i ponad 20-krotnie wyższa od wytrzymałości materiału uwodnionego. Przechowywanie suszu spowodowało początkowy spadek wytrzymałości na ściskanie a następnie niewielki wzrost. Uwodniona pietruszka blanszowana a także nie poddana obróbce wstępnej wykazuje spadek wytrzymałości na ściskanie w całym okresie przechowywania (rys. 1). W trakcie

przechowywania suszu z pietruszki jego wytrzymałość na przecinanie rosła a następnie spadała. Jedynie dla suszu uzyskanego z surowca nie poddanego obróbce wstępnej i badanego po 6 miesiącach przechowywania uzyskano wartości pracy przecinania istotnie wyższe od wartości pracy przecinania surowca. Nie stwierdzono wpływu obróbki wstępnej ani czasu przechowywania suszu na wytrzymałość na przecinanie produktu uwodnionego (rysunek 2). Wartości te są około 2-krotnie niższe od wartości pracy przecinania surowca.

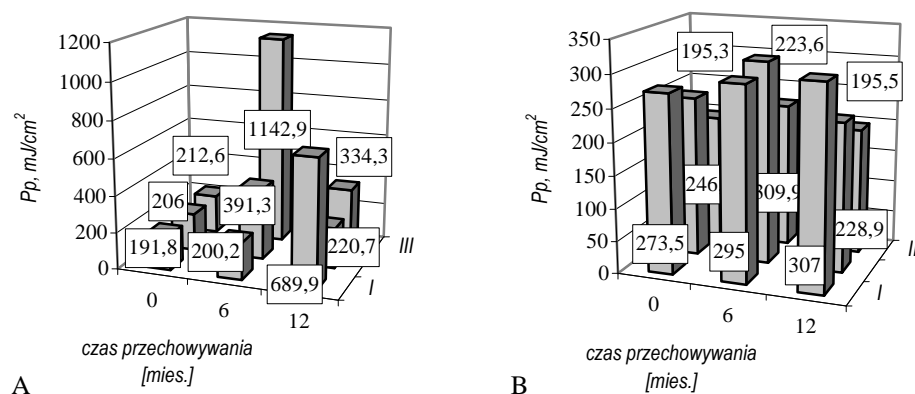


Rys. 1. Wartości pracy ściskania pietruszki suszonej sublimacyjnie w funkcji czasu przechowywania suszu dla: A-susz, B-materiał uwodniony, (I-odwadnianie osmotyczne, II-blanszowanie, III-bez obróbki wstępnej)

Fig 1. Deformation work values for freeze-dried parsley versus storage time: A-dried material, B-rehydrated material, (I-osmotic dehydration, II-blanching, III-without pretreatment)

Analiza statystyczna pozwoliła zbadać wpływ pojedynczych efektów czynnika A (rodzaj obróbki wstępnej) i czynnika B (czas przechowywania suszu) na cechy mechaniczne oraz istotność ich wzajemnego współdziałania, czyli tzw. interakcje. Zweryfikowano trzy główne hipotezy:

- obróbka wstępna nie ma wpływu na wartości pracy ściskania i pracy przecinania (H_1),
- czas przechowywania suszu nie ma wpływu na wartości pracy ściskania i pracy przecinania (H_2),
- brak jest interakcji pomiędzy zastosowaną obróbką wstępna i czasem przechowywania suszu (H_3).



Rys. 2. Wartości pracy przecinania pietruszki suszonej sublimacyjnie w funkcji czasu przechowywania suszu dla: A-susz, B-materiał uwodniony, (I-odwadnianie osmotyczne, II-blanszowanie, III-bez obróbki wstępnej)
 Fig. 2. Cutting work values for freeze-dried parsley versus storage time: A-dried material, B-rehydrated material, (I- osmotic dehydration, II- blanching, III- without pretreatment)

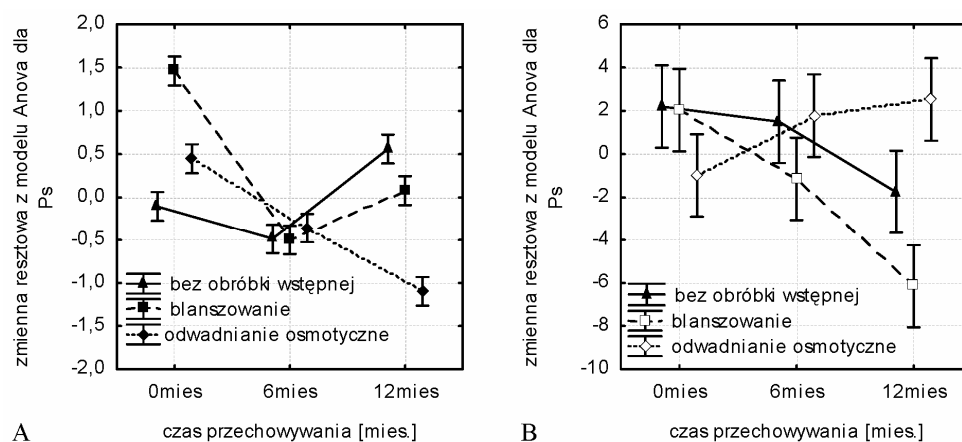
W modelu 2-kierunkowej analizy wariancji z interakcjami uwzględniono wpływ wilgotności suszu i materiału uwodnionego jako zmiennej towarzyszącej zakłócającej uzyskiwane wartości zmiennej odpowiedzi. Po wyznaczeniu trendu zmiennej zakłócającej wykonano analizę wariancji dla zmiennej skorygowanej postaci $Y-f(w)$ nazywanej zmienną resztową. Jedynie w przypadku analizy wartości pracy przecinania materiału uwodnionego uzyskano istotny trend zmiennej zakłócającej w postaci funkcji kwadratowej. W pozostałych przypadkach trend ten miał charakter prostoliniowy. Zatem model Anova przyjmuje następującą postać:

$$Y_{ijk} - f(w) = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \mathcal{E}_{ijk} \quad (1)$$

gdzie:

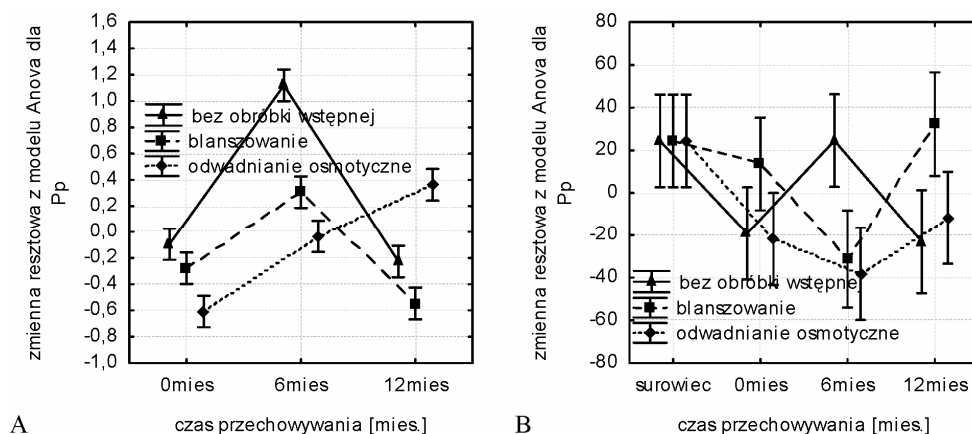
- Y_{ijk} – obserwacje zmiennej odpowiedzi,
- $f(w)$ – funkcja trendu zmiennej zakłócającej,
- μ – średnia ogólna zmiennej odpowiedzi, μ (mi),
- α_i – efekt i-tego poziomu czynnika A (obróbki wstępnej), α (alfa),
- β_j – efekt j-tego poziomu czynnika B (czas przechowywania suszu), β (beta),
- γ_{ij} – efekt interakcji czynników A i B, γ (gamma),
- \mathcal{E}_{ijk} – losowy efekt nieskorelowanych błędów pomiarowych i innych \mathcal{E} (epsilon) niekontrolowanych czynników.

Analizę jakościową istotności wpływu czynnika A i czynnika B na wartości pracy ściskania i wartości pracy przecinania wykonano w oparciu o wykresy wartości zmiennej resztowej w funkcji czasu przechowywania suszu dla zastosowanych metod obróbki wstępnej (rysunki 3, 4). Obróbka wstępna nie ma wpływu na wytrzymałość na ściskanie dla suszu przechowywanego przez okres 6 miesięcy. Natomiast w badaniach wykonanych bezpośrednio po suszeniu sublimacyjnym oraz po 12 miesiącach przechowywania zaobserwowano istotną zależność pomiędzy wartością pracy ściskania a zastosowaną obróbką wstępna. Dla suszu uwodnionego obróbka wstępna przed suszeniem miała istotny wpływ na wytrzymałość materiału na ściskanie dopiero po 12 miesiącach przechowywania (rysunek 3). Odporność suszu na przecinanie istotnie zmienia się w trakcie jego przechowywania ale tylko dla pietruszki odwodnionej osmotycznie przed suszeniem sublimacyjnym rośnie z wydłużaniem czasu magazynowania. Stwierdzono niewielki wpływ czasu przechowywania i obróbki wstępnej na wartość pracy przecinania dla pietruszki ponownie uwodnionej (rysunek 4). Ten etap badań nie pozwala na formułowanie wiarygodnych sugestii dotyczących przyczyn zmian wskaźników wytrzymałościowych w trakcie przechowywania suszu z pietruszki. Badania struktury wewnętrznej w oparciu o zdjęcia mikroskopowe być może pozwolą na postawienie odpowiedniej hipotezy wyjaśniającej.



Rys. 3. Wpływ czasu przechowywania suszu z pietruszki na zmienną resztową pracy ściskania z modelu Anova dla różnych metod obróbki wstępnej (A-suszu, B-materiał uwodniony)

Fig. 3. The effect of dried parsley storage time on the Anova's model residue variable of deformation work for different methods of pretreatment (A-dried material, B-rehydrated material)



Rys. 4. Wpływ czasu przechowywania suszu z pietruszki na zmienną resztową pracy przecinania z modelu Anova dla różnych metod obróbki wstępnej (A-susz, B-materiał uwodniony)

Fig. 4. The effect of dried parsley storage time on the Anova's model residue variable of cutting work for different methods of pretreatment (A-dried material, B-rehydrated material)

Wnioski

1. Suszenie sublimacyjne spowodowało około 2-krotne obniżenie wytrzymałości pietruszki na przecinanie zarówno dla suszu jak i dla materiału uwodnionego. Wytrzymałość na ściskanie dla materiału uwodnionego, w stosunku do surowca, spadła 20-krotnie a dla suszu zmalała 2-krotnie.
2. Przechowywanie suszu w warunkach próżniowych powoduje istotne zmiany wytrzymałości pietruszki na ściskanie i na przecinanie. Okres przechowywania ma bardziej znaczący wpływ na cechy wytrzymałościowe suszu niż materiału uwodnionego.
3. Zaproponowane metody obróbki wstępnej przed suszeniem sublimacyjnym istotnie zmieniają wytrzymałość pietruszki. Odwadnianie osmotyczne jest obróbką najbardziej wpływającą na wartości pracy ściskania i wartości pracy przecinania.

Bibliografia

Borna Z. 1977. Szczegółowa uprawa warzyw. Państwowe Wydawnictwa Rolnicze i Leśne. Warszawa.

Jakubczyk E., Lewicki P.P. 2002. Wpływ zabiegów wstępnych przed suszeniem na właściwości mechaniczne suszów z jabłek. 7th International Scientific Conference, s. 365-369.

Kołota E., Orłowski M., Osińska M. 1994. Warzywnictwo. Wydawnictwo AR we Wrocławiu.

Kramkowski R., Stępień B., Krajewski M. 2003. Wpływ czasu przechowywania suszu z pieczarek uzyskanych metodą sublimacji na pracę ściskania. *Inżynieria Rolnicza* 9(51), s. 147-153.

Lane H. W., Nillen J. L., Koleris V. L. 1995. Folic acid content in thermostabilized and freeze-dried space shuttle foods. *Journal of Food Science*, v. 60. 3, p. 538-540.

Stępień B., Kramkowski R., Figiel A. 2003. Wpływ temperatury suszenia sublimacyjnego na właściwości reologiczne selera. *Inżynieria Rolnicza* 9(51), s. 155-162.

MECHANICAL PROPERTIES CHANGES OF DRIED PARSLEY OCCURRING DURING STORAGE

Summary

Freeze-drying studies of parsley, Eagle F1 variety, were carried out with contact heating, 20°C temperature of heating plate and 100Pa pressure in drying chamber. Blanched material, osmotic pretreated material and material without any pretreatment were dried. Mechanical properties were determined for dried and for rehydrated materials. Stress compression tests and cutting tests were carried out for samples obtained just after freeze-drying and for samples stored during 6 and 12 months. Test samples were stored in plastic bags (vacuum packing), in room temperature and without light access. Qualitative analysis of the effect of pretreatment and time of storage were carried out on the basis of Anova's model residue variable figures.

Key words: freeze-drying, parsley roots, pretreatment, mechanical properties