

Joanna KANIEWSKA, Marek DOMORADZKI, Wojciech POĆWIARDOWSKI

e-mail: joanna.kaniewska@utp.edu.pl

Zakład Technologii Żywności, Katedra Aparatury i Technologii Żywności, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Suszarka wibracyjna. Opory przepływu powietrza przez warstwę nasion

Wstęp

Dla uzyskania zdrowych roślin i wysokich plonów niezbędne są czyste mikrobiologicznie nasiona o wysokiej zdolności kiełkowania. Wilgotne nasiona zaraz po zbiorze o wysokiej zawartości wilgoci narażone są na atak patogenów, co warunkuje ich jakość handlową. Suszenie nasion jest podstawową operacją wpływającą na otrzymanie wysokich parametrów jakościowych materiału siewnego. W zakładach nasiennej po procesach odkażania, mycia czy otoczkowania istnieje potrzeba szybkiego wysuszenia mokrych nasion do wilgotności bezpiecznej dla przechowywania materiału nasiennego [Domoradzki i Korpala, 2005; Domoradzki i in., 2007].

Suszenie nasion w złożu stacjonarnym nie daje gwarancji równomiernego wysuszenia, ponieważ w suchonym złożu nasion powstają kanały dla przepływu powietrza suszącego, nierównomiernie rozłożone w całej warstwie nasion. Suszenie materiałów sypkich o dużym rozdrobieniu można prowadzić bardziej efektywnie w suszarkach fluidyzacyjnych [Stakić i Urošević, 2011]. Odprowadzenie wilgoci z rozluźnionego złoża jest bardziej równomierne niż w przypadku złoża stacjonarnego. W suszarkach komorowych spulchnienie materiału można osiągnąć poprzez zastosowanie motowibratorów.

Znane są konstrukcje suszarek komorowych czy fluidyzacyjnych, w których złoże dodatkowo poddawane jest mieszaniu czy wibracjom. Sadeghi i Khoshataghaza [2012] badali wpływ wibracji złoża na efektywność suszenia fluidyzacyjnego liści herbaty. Układ wzbudzający złoże pozwolił na osiągnięcie stanu fluidyzacji przy mniejszej prędkości przepływu powietrza. Poza tym autorzy zauważyli, że dodatkowe wzbudzenie warstwy w suszarce niweluje negatywne zjawisko tworzenia się kanałów powietrznych. Zastosowanie układu drgającego pozwala także na ograniczenie aglomeracji suszonego materiału sypkiego. Moreno i in. [2000] porównując proces suszenia złoża stacjonarnego i wibrującego oceniali jakość produktu końcowego. Zawartość końcowa wody była bardziej wyrównana w przypadku złoża drgającego.

Celem pracy jest określenie oporów przepływu powietrza przez warstwę nasion w zależności od prędkości przepływu powietrza w suszarce wibracyjnej. Aby zapewnić równomierne suszenie nasion konieczne jest mieszanie złoża nasion w suszarce okresowej. Celem było także zbadanie obwodowej prędkości ruchu złoża nasion na sicie, z przepływem przez złoże powietrza i bez przepływu powietrza.

Opis badań

Materiał do badań

Materiałem do badań były nasiona marchwi odmiany *Perfekcja* (Rys. 1) o wilgotności 8,5%. Wilgotność nasion wyznaczono metodą suszarkową wg normy [PN-R-65950, 1994]. W badaniach użyto frakcji nasion o wymiarach od 1,2 do 1,6 mm. Gęstość właściwą i gęstość usypową nasion marchwi wyznaczono metodą ważenia w cylindrze miarowym. Porowatość, średnicę zastępczą i współczynnik kształtu nasion obliczono z zależności [Serwiński, 1971; Frączek i Wróbel, 2006]:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_u}{\rho} \quad (1)$$

$$d_z = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi \rho L}} \quad (2)$$

$$\varphi = \sqrt[3]{\frac{abc}{c^3}} \quad (3)$$

Tab. 1. Właściwości fizyczne nasion marchwi [źródło własne]

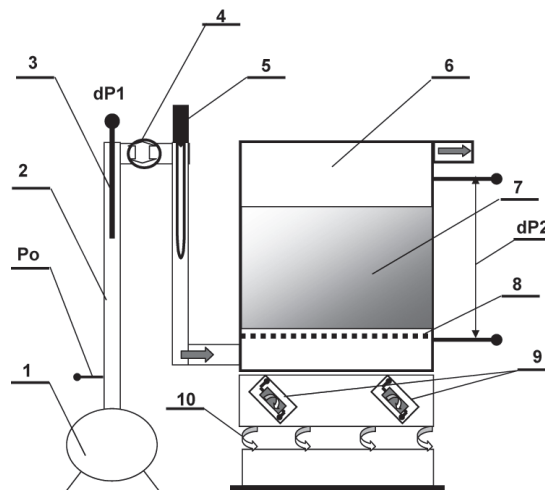
Wilgotność początkowa [%]	Gęstość, ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Gęstość usypowa ρ_u [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Porowatość ε	Współczynnik kształtu, φ	Średnica zastępcza d_z [m]	Masa 1000 nasion [1000 g szt. ⁻¹]	Liczność, L [szt. g ⁻¹]
8,5	1010	495	0,510	0,80	0,00146	1,25	800



Rys. 1. Nasiona marchwi [źródło własne]

Aparatura badawcza

Badania spadku ciśnienia na złożu nasion wykonano w urządzeniu suszarniczym przedstawionym na rys. 2. Wentylator – 1 tłoczył powietrze przez rurociąg – 2, doprowadzając je do komory suszarniczej – 6, przy w pełnym otwarciu zaworu – 4. W rurociągu doprowadzającym znajdowała się rurka Prandtla do pomiaru prędkości przepływu powietrza – 3.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego [źródło własne]: 1 – wentylator, 2 – rurociąg doprowadzający powietrze, 3 – rurka Prandtla do pomiaru prędkości przepływu, 4 – zawór, 5 – grzałka, 6 – komora suszarki, 7 – złoże, 8 – sito, 9 – wibratory, 10 – zawieszanie sprężynowe, P_0 – ciśnienie za wentylatorem, dP_1 – różnica ciśnień na rurce Prandtla, dP_2 – różnica ciśnień na warstwie nasion

Komora suszarnicza miała średnicę wewnętrzną $D = 0,6$ m i składała się z 6 elementów o wysokości 0,1 m połączonych zaciskami. Komora suszarnicza z dwoma zamocowanymi wibratorami spoczywała na 12 sprężynach – 10. Średnica rurociągu doprowadzającego powietrze – 2 wynosiła $d = 0,053$ m.

Nasiona marchwi – 7 umieszczono na sicie – 8 o średnicy otworów 1,0 mm, umocowanym na dnie cylindrycznej komory. Powietrze było tłoczone od dołu do góry komory.

Metodyka badań

W pracy badano spadek ciśnienia w warstwie nasion w zależności od wysokości złoża, dla stałej prędkości przepływu powietrza i stałej amplitudy drgań suszarki wibracyjnej. Wyniki jednostkowych spadków ciśnienia powietrza wzdłuż warstwy wzbudzonych nasion porównano z oporami na złożu stacjonarnym.

Na rurociągu oraz pod sitem komory suszarniczej zainstalowano króćce do pomiarów spadku ciśnienia powietrza mierzonego przy pomocy manometrów wodnych. Różnicę ciśnień dynamicznego i statycznego mierzono z dokładnością do 1 mm słupa H₂O.

Ustawiono kąt położenia wibratorów napędu suszarki równy 45° w stosunku do pionu i stałą siłę $F = 3654$ N wywołującą wibrację. Masa pustej komory wibracyjnej suszarki wynosiła 108 kg, powierzchnia sita $A = 0,2826$ m², a obwód sita suszarki $O = 1,884$ m.

Prędkość przepływu powietrza w rurociągu określano za pomocą rurki Prandtla. Tłoczone powietrze miało temperaturę ok. 35°C.

Prędkość przepływu powietrza przeliczano na pusty przekrój poprzeczny aparatu korzystając z równania ciągłości strugi [Serwiński, 1971]:

$$ud^2 = UD^2, \text{ stąd } U = u \frac{d^2}{D^2} \quad (4)$$

Amplituda drgań poziomych mierzona na ekranie w odległości 3,2 m od suszarki za pomocą wskaźnika laserowego wynosiła 20 mm. Prędkość obwodową nasion w suszarce mierzono za pomocą czasu jednego obiegu znacznika ułożonego na nasionach przy ścianie zewnętrznej komory suszarki. Pomiar spadku ciśnienia na warstwie nasion marchwi wykonywano przy różnych wysokościach złoża, które wynosiły odpowiednio: $H = 0,040; 0,082; 0,120; 0,162; 0,200; 0,235; 0,275$ m przy pełnym przepływie powietrza z wentylatora do suszarki. Badania spadku ciśnienia na złożu nasion prowadzono dla złoża stacjonarnego i dla złoża wzbudzanego. Wibratory pracowały w układzie drgań współbieżnych.

Wyniki badań i ich omówienie

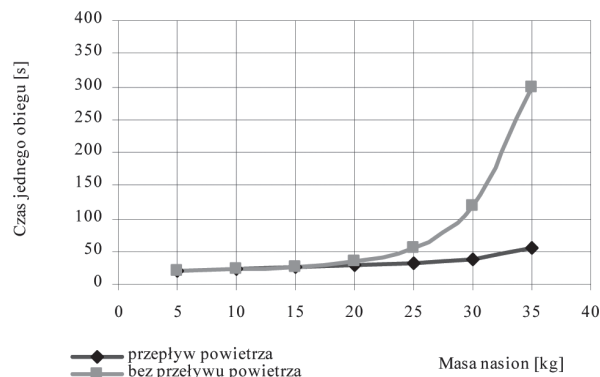
Pomiary prędkości obwodowej nasion na sicie wykonano przy włączonych wibratorach dla komory suszarniczej z przepływem powietrza i bez przepływu powietrza. Wyniki przedstawiono w tab. 2 i na rys. 3.

Tab. 2. Prędkość ruchu wzbudzonych nasion marchwi na sicie [źródło własne]

Lp.	Powietrze	Masa nasion [kg]	Wysokość złoża H [mm]	Czas obiegu nasion τ [s]	Prędkość nasion na sicie u_n [m/s]	Objętość nasion V_n [m ³]
1	+	5	40	19	0,0992	0,0113
2	+	10	81	22	0,0856	0,0229
3	+	15	95	27	0,0698	0,0268
4	+	20	160	36	0,0523	0,0452
5	+	25	198	63	0,0299	0,0560
6	+	30	232	120	0,0157	0,0656
7	+	35	273	300	0,0063	0,0771
8	-	5	41	19	0,0992	0,0116
9	-	10	82	22	0,0856	0,0232
10	-	15	122	25	0,0754	0,0345
11	-	20	162	30	0,0628	0,0458
12	-	25	200	33	0,0571	0,0565
13	-	30	237	38	0,0496	0,0670
14	-	35	275	54	0,0349	0,0777

+ przepływ powietrza przez złoże
- brak przepływu powietrza przez złoże

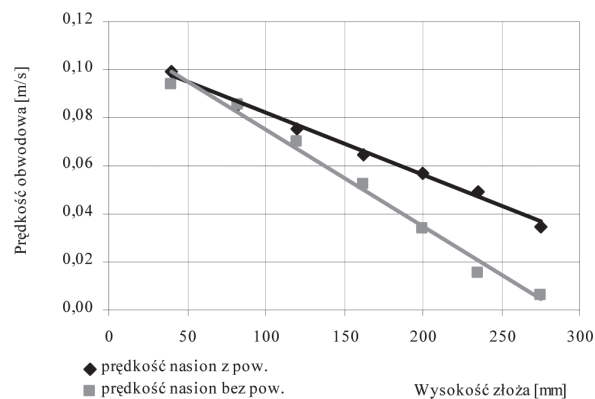
Wrzaz ze wzrostem wysokości warstwy nasion marchwi (masy) zarówno w układzie stacjonarnym, jak i wzbudzonym (wibracyjnym) czas pełnego obiegu nasion wydłuża się, przy czym ta różnica jest większa



Rys. 3. Zależność czasu jednego obiegu wzbudzonej warstwy nasion dla różnej wysokości złoża z przepływającym powietrzem i bez [źródło własne]

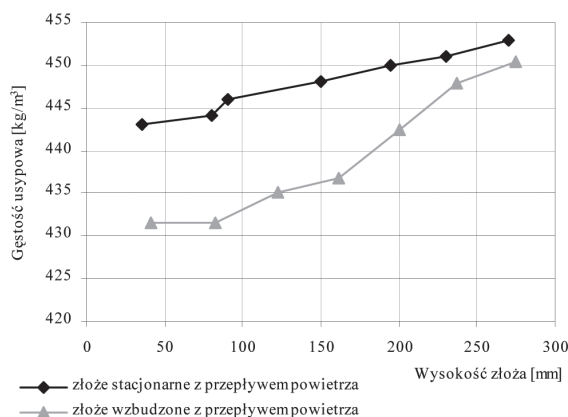
dla czasu obiegu bez przepływu powietrza przy masie nasion większej od 25 kg. Wynika to ze zmiany współczynnika tarcia wewnętrzne go rozluźnionego złoża nasion.

Prędkość obwodowa nasion na sicie (ruszcie) maleje wraz ze wzrostem wysokości warstwy nasion na sicie, przy czym spadek ten jest większy w przypadku braku przepływu powietrza (Rys. 4).



Rys. 4. Zależność prędkości obwodowej warstwy nasion dla różnej wysokości złoża z przepływającym powietrzem i bez [źródło własne]

Powietrze przepływające przez złoże rozluźnia je. Dodatkowo na zmianę gęstości usypowej takiego złoża wpływają wibracje (Rys. 5).



Rys. 5. Zależność gęstości usypowej warstwy nasion dla różnej wysokości złoża dla złoża stacjonarnego i wibrującego z przepływem powietrza [źródło własne]

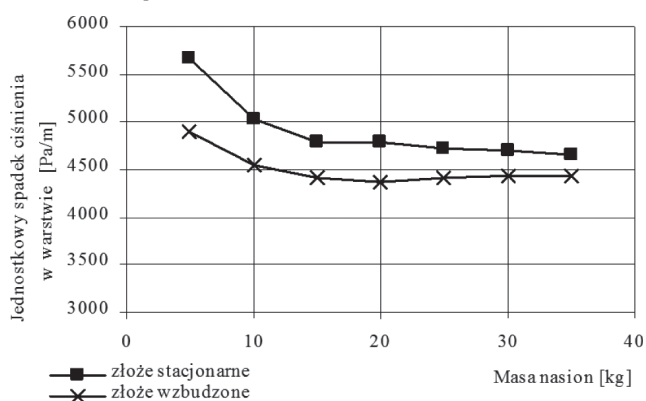
Dla różnych wysokości złoża nasion marchwi wyznaczono opór jednostkowy warstwy nasion (Rys. 6). Przy zmiennym ciśnieniu powietrza za wentylatorem i stałej prędkości przepływu powietrza liczonej na pusty przekrój poprzeczny aparatu, która wynosiła ok. 0,4 m/s.

Tab. 3. Jednostkowy spadek ciśnienia wzdłuż warstwy nasion
[źródło własne]

Lp.	Wzbudzenie przez vibrację	Masa nasion [kg]	Wysokość złoża H [mm]	Spadek ciśnienia powietrza w złożu ΔP [Pa]	Jednostkowy spadek ciśnienia $\frac{\Delta P}{H}$ [Pa/m]
1	-	5	38	215,8	5679
2	-	10	78	392,4	5031
3	-	15	115	549,4	4777
4	-	20	160	765,2	4782
5	-	25	195	922,1	4729
6	-	30	230	1079,1	4692
7	-	35	270	1255,7	4651
8	+	5	40	196,2	4905
9	+	10	82	372,8	4546
10	+	15	120	529,7	4415
11	+	20	162	706,3	4360
12	+	25	200	882,9	4415
13	+	30	235	1039,9	4425
14	+	35	275	1216,4	4423

- złoże stacjonarne

+ złoże wzbudzone przez działanie wibratorów



Rys. 6. Zależność jednostkowego spadku ciśnienia wzdłuż warstwy nasion w zależności od masy nasion przy stałej prędkości przepływu powietrza dla złoża stacjonarnego i wzbudzonego [źródło własne]

Można zauważyć, że jednostkowy opór w warstwie jest mniejszy w przypadku złoża wzbudzanego wibracjami z silników umieszczonych w kolumnie. Warstwa nasion w wyniku drgań rozluźnia się i dzięki temu opór powietrza jest mniejszy.

Wnioski

Prędkość obwodowa nasion po sicie suszarki wibracyjnej maleje wraz ze wzrostem wysokości warstwy nasion na sicie, przy czym spadek ten jest większy w przypadku braku przepływu powietrza.

Nasiona marchwi w złożu, które podczas suszenia jest dodatkowo wzbudzone przez wibratory zamontowane w podstawie suszarki cechuje się mniejszą gęstością usypową w porównaniu do nasion nie wzbudzonych.

Złoże nasion w suszarce wibracyjnej charakteryzuje się mniejszym jednostkowym spadkiem ciśnienia w warstwie niż złoże stacjonarne.

Wraz ze wzrostem wysokości złoża maleje różnica jednostkowych spadków wzdłuż warstwy dla obu złożeń (stacjonarnego i wzbudzonego).

Oznaczenia

- A – pole powierzchni aparatu, [m²]
- a, b, c – wymiary nasion, kolejno: grubość, szerokość i długość, [m]
- D – średnica aparatu, [m]
- d – średnica rurociągu, [m]
- d_z – średnia średnica zastępcza ziaren, [m]
- F – siła wywołująca wibracje, [N]
- H – wysokość warstwy nasion, [m]
- L – liczność nasion, [szt. g⁻¹]
- O – obwód sita, [m]
- U – prędkość przepływu powietrza liczona na pusty poprzeczny przekrój aparatu, [m·s⁻¹]
- u – prędkość powietrza, [m·s⁻¹]
- u_n – prędkość nasion na sicie, [m·s⁻¹]
- V_n – objętość nasion w aparacie, [m³]
- ΔP – różnica ciśnień, [Pa]
- ε – porowatość nasion, [-]
- ρ – gęstość nasion, [kg·m⁻³]
- ρ_u – gęstość usypowa nasion, [kg·m⁻³]
- τ – czas obiegu nasion po sicie aparatu, [s]
- φ – współczynnik kształtu nasion, [-]
- $\left(\frac{\Delta P}{H}\right)$ – opór jednostkowy wzdłuż warstwy nasion, [Pa·m⁻¹]

LITERATURA

- Domoradzki M., Korpala W., 2005. Dobór materiałów do otoczkowania nasion rzodkiewki roztworem dekstryny. *Inż. Roln.*, nr 11 (71), 69-78
- Domoradzki M., Korpala W., Weiner W., Witek Z., 2007. Badania procesu ługowania szlifowanych nasion buraka ćwikłowego. *Inż. Roln.*, nr 5 (93), 115-121
- Frączek J., Wróbel M., 2006. Metodyczne aspekty oceny kształtu nasion. *Inż. Roln.*, 12 (87), 155-163
- Moreno R., Ríos R., Calbucura H., 2000. Batch vibrating fluid bed dryer for sawdust particles: experimental results. *Drying Tech.*, 18, nr 7, 1481-1493. DOI: 10.1080/07373930008917789
- PN-R-65950:1994. *Material siewny. Metody badania nasion*
- Sadeghi M., Khoshtaghaza M. H., 2012. Vibration effect on particle bed aerodynamic behavior and thermal performance of black tea in fluidized bed dryers. *J. Agr. Sci. Tech.*, 14, 781-788
- Serwiński M., 1971. *Zasady Inżynierii Chemicznej*. WNT, Warszawa, 108-114
- Stakić M., Urošević T., 2011. Experimental study and simulation of vibrated fluidized bed drying. *Chemical Engineering and Processing*, 50, 428-437. DOI: 10.1016/j.cep.2011.02.006