

PRZEPŁYWY CZYNNIKA SUSZĄCEGO W SUSZARKACH TAŚMOWYCH DO SUSZENIA WARZYW

Streszczenie

Badania przepływu czynnika suszącego przeprowadzono w dwóch przemysłowych suszarkach taśmowych na przykładzie suszenia krajanki otrzymanej z korzeni selerów. Badane suszarki to: suszarka pięciotaśmowa z przenośnikami taśmowymi usytuowanymi równolegle i suszarka trójtaśmowa z przenośnikami taśmowymi rozmieszczonymi szeregowo. W pracy podano m.in. rzeczywiste wartości strumieni czynnika suszącego: dopływających do komór suszarniczych suszarek, recyrkulacyjnych oraz wypływających z wyrzutni powietrza. Wyznaczone doświadczalnie strumienie czynnika suszącego porównano z teoretycznym zapotrzebowaniem na powietrze suszące.

Słowa kluczowe: suszarka, suszenie warzyw, czynnik suszący, recyrkulacja.

Oznaczenia

- A – przekrój poprzeczny kanału, przewodu [m^2],
 \dot{m}_1 – strumień krajanki warzywnej na wejściu suszarki [kg/s],
 \dot{m}_2 – strumień suszu na wyjściu suszarki [kg/s],
p – całkowite ciśnienie wilgotnego powietrza [Pa],
 p_{nas} – ciśnienie nasycenia pary wodnej w powietrzu - czynnika suszącym [Pa],
 p_{di} – miejscowe ciśnienie dynamiczne powietrza- czynnika suszącego [N/m^2],
 R_w – stała gazowa pary wodnej, 461,5 [J/(kg·K)],
t, T – temperatura czynnika suszącego, powietrza [$^{\circ}C$], [K],
x – zawartość wody w powietrzu w punkcie pomiaru A-M (tab.1) [kg/kg],
 x_o – początkowa zawartość wody w powietrzu [kg/kg],
 x_M – zawartość wody w mieszaninie zużytego czynnika suszącego [kg/kg],
 φ – wilgotność względna powietrza - czynnika suszącego.

Wprowadzenie

Z dostępnej literatury wiadomo, że dotychczas nie prowadzono badań porównawczych rzeczywistych strumieni przepływu czynnika suszącego w suszarkach taśmowych do suszenia warzyw z teoretycznym zapotrzebowaniem na powietrze suszące. Badania takie są wskazane, ponieważ obliczony, na podstawie równań literaturowych [Häussler 1970], wskaźnik zapotrzebowania na suche powietrze w odniesieniu do jednego kilograma odparowanej wody z krajanki warzywnej w czasie suszenia różni się od wskaźnika rzeczywistego [Domagała 1996]. Mniejsze ilości czynnika suszącego doprowadzonego do procesu suszenia powodują niedosuszenie suszu, a większe – przesuszenie [Janus 2003].

Cel i zakres pracy

Celem pracy było przeprowadzenie badań porównawczych rzeczywistych i teoretycznych strumieni czynnika suszącego na wejściach, wyjściach i w przewodach recyrkulacyjnych, na przykładzie dwóch przemysłowych suszarek: pięciotaśmowej z przenośnikami taśmowymi usytuowanymi równolegle [Binder 1996] i trójtaśmowej – z przenośnikami rozmieszczonymi szeregowo [Alfa-Laval 1986].

Badania obejmowały m. in. następujący zakres czynności:

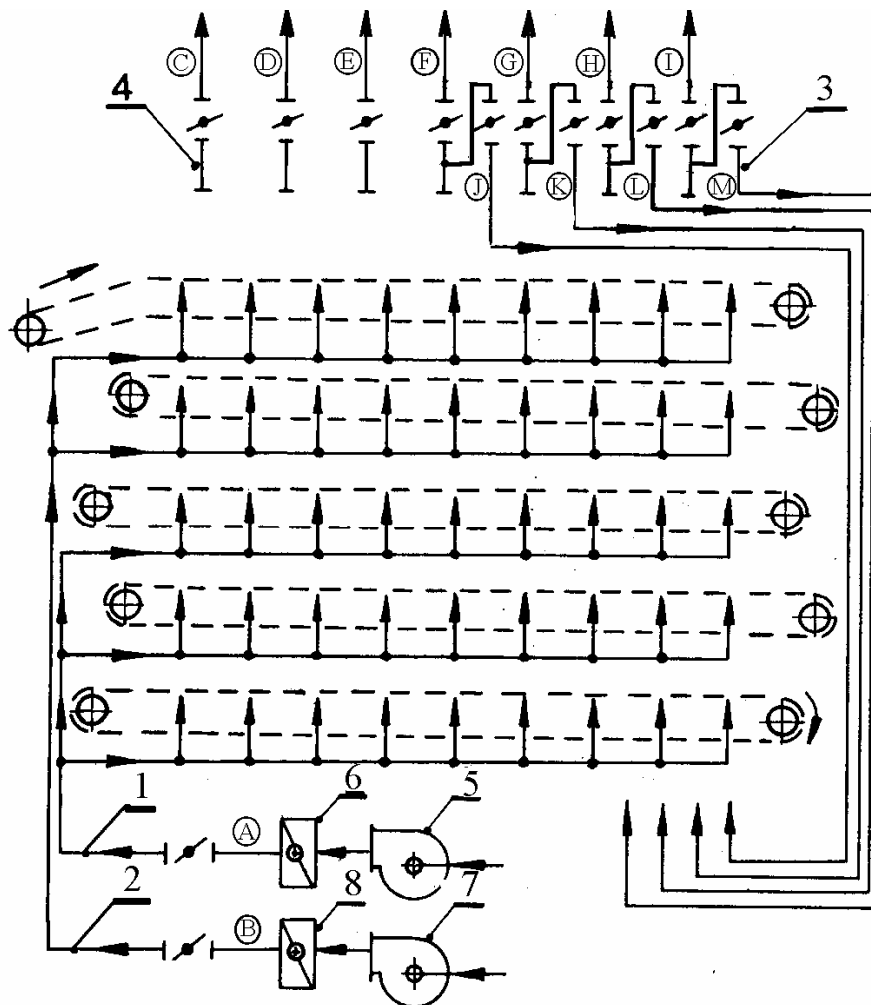
- pomiary ciśnienia, temperatury, wilgotności względnej, powietrza zewnętrznego i czynnika suszącego w kanałach i przewodach suszarek,

-
- pomiary temperatury i miejscowych ciśnień dynamicznych czynnika suszącego w przewodach suszarki i wyrzutniach powietrza,
 - obliczenia średnich prędkości czynnika suszącego w kanałach zasilających komorę suszenia suszarki i w wyrzutniach powietrza,
 - obliczenia strumieni suchego czynnika suszącego dopływającego i odpływającego z suszarki,
 - obliczenie teoretycznego zapotrzebowania na powietrze suszące i porównanie z rzeczywistym przepływem czynnika suszącego w badanej suszarce.

Materiał i metodyka badań

Przepływy czynnika suszącego w suszarkach badano w trakcie suszenia kostek selerowych o boku 10 mm. Wilgotność suszu podczas badań wynosiła 8 %. Strumienie krajanki z korzeni selerów i suszu wynosiły: $\dot{m}_1 = 1,2 \text{ kg/s}$ i $\dot{m}_2 = 0,14 \text{ kg/s}$. Strumienie \dot{m}_1 i \dot{m}_2 mierzono za pomocą przenośnej wagi taśmowej.

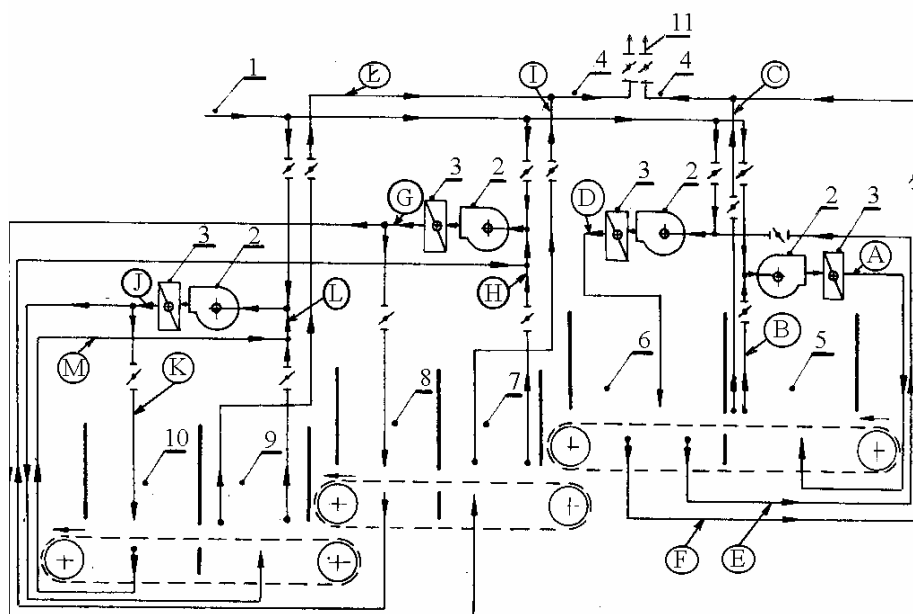
Na rys. 1 zaznaczono, dużymi literami w kółkach, punkty pomiarowe w suszarce pięciotaśmowej. Przenośniki taśmowe w tej suszarce są usytuowane równolegle – jeden nad drugim. Po obydwu stronach komory suszenia wykonane wzdłużne kanały, które przedzielone są blachami na wysokości pomiędzy drugim a trzecim przenośnikiem taśmowym [Binder 1996]. W ten sposób uzyskano po obu stronach komory suszenia suszarki dwa kanały: kanał górnej i kanał dolnej strefy temperaturowej. Do kanałów tych doprowadzone są, za pomocą przewodów 1, 2, czynniki suszące o różnych wartościach temperatury, skąd odprowadzone są pod taśmy przenośników, co zaznaczono na rys. 1 strzałkami. Przekroje poprzeczne przewodów, w których mierzono miejscowe ciśnienia dynamiczne, są równe: $A_1 = 1,89 \text{ m}^2$, $A_2 = 1,48 \text{ m}^2$, $A_3 = 0,274 \text{ m}^2$, $A_4 = 0,523 \text{ m}^2$. Indeksy 1-4 oznaczają rodzaj przewodu.



Rys. 1. Schemat rozplywu czynnika suszacego w suszarce pięciotaśmowej: 1- przewód doprowadzający czynnik suszący do dolnej strefy temperaturowej suszarki, 2 – przewód doprowadzający czynnik suszący do górnej strefy temperaturowej, 3 – przewód recyrkulacyjny, 4 – wyrzutnia powietrza, 5 – wentylator, 6 – nagrzewnica powietrza dolnej strefy temperaturowej suszarki, 7 – wentylator, 8 – nagrzewnica powietrza górnej strefy temperaturowej suszarki, A ... M – punkty pomiarowe

Fig. 1. Scheme of drying agent distribution in a five-band drier: 1- duct supplying drying agent to lower temperature zone in the drier; 2- duct supplying drying agent to upper temperature zone; 3- recirculation duct; 4- air outlet; 5- fan ; 6- air heated at lower temperature zone. 7- fan; 8- air heater at upper temperature zone; A...t- measurement points.

Na rys.2 zaznaczono dużymi literami, w kółkach, punkty pomiarowe w suszarce trójtaśmowej – z przenośnikami taśmowymi rozmieszczonymi szeregowo, czyli jeden za drugim. Na każdy przenośnik taśmowy przypadają dwie strefy suszenia. W strefach 5, 7, 9 czynnik suszący jest doprowadzany pod warstwę suszonej krajanki warzywnej, a w strefach 6, 8, 10 – nad warstwę krajanki.



Rys. 2. Schemat rozptyłu czynnika suszącego w suszarce trójtaśmowej: 1 – kanał doprowadzający przefiltrowane powietrze do suszarki, 2 – wentylator, 3 – nagrzewnica powietrza, 4 – kanał odprowadzający zużyty czynnik suszący do wyrzutni powietrza, 5 – pierwsza strefa suszenia, 6 - druga strefa suszenia, 7 – trzecia strefa suszenia, 8 – czwarta strefa suszenia, 9 – piąta strefa suszenia, 10 – szóstą strefa suszenia, 11 – wyrzutnia powietrza, A ... M – punkty pomiarowe

Fig. 2. Scheme of drying agent distribution in a three-band drier: 1- duct supplying filtered air to the drier; 2- fan; 3- air heater; 4- duct carrying out used drying agent to air outlet; 5- first drying zone; 6- second drying zone; 7- third drying zone; 10- sixth drying zone; 11- air outlet; A.....M- measurements points.

Wielkości potrzebne do oceny przepływu czynnika suszącego obliczono za pomocą niżej podanych zależności.

Zawartość wody x w powietrzu atmosferycznym, czynnika suszącym

$$x = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_{\text{nas}}}{p - \varphi \cdot p_{\text{nas}}} \quad [\text{kg pary w./kg s. p.}] \quad (1)$$

Gęstość powietrza zewnętrznego ρ oraz czynnika suszącego w przewodach

$$\rho = \frac{(1+x) \cdot p}{(x+0,622) \cdot R_w \cdot T} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2)$$

Średnie ciśnienie dynamiczne \bar{p}_d czynnika suszącego w przewodach suszarki

$$\bar{p}_d = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sqrt{p_{di}} \right)^2}{n^2} \quad [\text{N/m}^2] \quad (3)$$

Średnia prędkość \bar{v} czynnika suszącego w przewodach suszarki

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{2 \cdot \bar{p}_d}{\rho}} \quad [\text{m/s}] \quad (4)$$

Strumień suchego czynnika suszącego \dot{M}_L w przewodach suszarki

$$\dot{M}_L = \frac{\dot{V} \cdot \rho}{x + 1} \quad [\text{kg s.p./s}] \quad (5)$$

Zapotrzebowanie na suche powietrze \dot{M}_{LZ} w suszarce

$$\dot{M}_{LZ} = \frac{\dot{W}}{x_M - x_0} \quad [\text{kg s.p./s}] \quad (6)$$

Strumień objętości suchego czynnika suszącego \dot{V}_L w przewodach suszarki

$$\dot{V}_L = (1 + x) \dot{V} \quad [\text{m}^3 \text{ s.p./s}] \quad (7)$$

Przeliczenie rzeczywistego przepływu strumienia objętości suchego czynnika suszącego \dot{V}_L do warunków normalnych \dot{V}_n ($p_n = 101325 \text{ Pa}$, $T_n = 273 \text{ K}$, dokonano za pomocą zależności

$$\dot{V}_n = \dot{V}_L \cdot \frac{p \cdot T_n}{p_n \cdot T} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (8)$$

Powyższe przeliczenie umożliwia arytmetyczne dodawanie wartości przepływów objętościowych w celach porównawczych.

Temperaturę powietrza i czynnika suszącego mierzono przy użyciu termoelementów, ciśnienie – czujnikiem elektronicznym, wilgotność względną – czujnikiem pojemnościowym, miejscowe ciśnienia dynamiczne powietrza i czynnika suszącego w przewodach suszarek – rurkami Prandtla.

Wyniki badań i ich analiza

Z danych liczbowych zawartych w tabeli 1 widać, że do suszarki dopływa przewodami 1, 2 (A, B) strumień normalny objętościowy $\dot{V}_n = 15,47 + 12,42 = 27,87 \text{ m}^3 \text{ s.p./s}$, co odpowiada strumieniowi masowemu $\dot{M}_n = 35,98 \text{ kg s.p./s}$, wypływa siedmioma wyrzutniami 4 (C-I) całkowity strumień $\dot{V}_n = 23,21 \text{ m}^3 \text{ s.p./s}$ ($\dot{M}_n = 34,26 \text{ kg s.p./s}$), odpływa przewodami recyrkulacyjnymi $\dot{V}_n = 4,61 \text{ m}^3 \text{ s.p./s}$ ($\dot{M}_n = 5,94 \text{ kg s.p./s}$). Strumienie dopływające do suszarki $\dot{V}_n = 27,87 \text{ m}^3 \text{ s.p./s}$ ($\dot{M}_n = 35,98 \text{ kg s.p./s}$) nie bilansują się dokładnie ze strumieniami $\dot{V}_n = 23,21 \text{ m}^3 \text{ s.p./s}$ ($\dot{M}_n = 34,26 \text{ kg s.p./s}$) wypływającymi przez wyrzutnie do atmosfery. Różnica pomiędzy dopływem i wypływem strumieni wynoszą $4,66 \text{ m}^3 \text{ s.p./s}$, czyli $1,72 \text{ kg s.p./s}$, co można wytłumaczyć stratą czynnika suszącego wypływającego przez nieszczelności suszarki. Strumień odparowanej wody w czasie suszenia $\dot{W} = 1,06 \text{ kg/s}$, a zapotrzebowanie na suche powietrze $\dot{M}_{LZ} = 33,54 \text{ kg s.p./s}$. Wielkości te obliczono zawartość wilgoci x_M w mieszaninie zużytego czynnika suszącego wypływającego z wyrzutni suszarki wyznaczono według Häusslera [1970]; $x_M = 0,0366 \text{ kg/kg}$, a początkowa zawartość wilgoci w powietrzu $x_0 = 0,005 \text{ kg/kg}$ (z tabeli 1 dla punktów pomiaru A,B). Zapotrzebowanie na suche powietrze $\dot{M}_{LZ} = 33,54 \text{ kg s.p./s}$ jest mniejsze niż sumaryczne $\dot{M}_L = 34,02 \text{ kg s.p./s}$, podane w tabeli 1 dla punktów pomiarowych A,B. Fakt ten można uzasadnić tym, że badania suszarki pięciotaśmowej prowadzono przy całkowicie otwartych przepustnicach.

Tabela 1. Parametry czynnika suszącego w suszarce pięciotaśmowej
Table 1. Parameters of the drying agent in five-band drier.

Punkt pomiaru wg rys.1	Parametr											
	T	φ	\bar{p}_d	ρ	X	\bar{v}	\dot{V}	\dot{M}	\dot{M}_L	\dot{V}_L	\dot{V}_n	\dot{M}_n
	K	%	N/m ²	kg/m ³	kg/kg	M/s	m ³ /s	Kg/s	kg/s	m ³ /s	M ³ /s	kg/s
A	357	1,17	56,06	0,973	0,004	10,66	20,15	19,86	19,79	20,23	15,47	19,96
B	389	0,93	57,55	0,904	0,060	11,28	16,70	15,09	14,23	17,70	12,42	16,02
C	323	36	69,48	1,080	0,028	11,37	5,94	6,38	6,20	6,11	5,16	6,66
D	340	36	51,22	1,000	0,067	10,12	5,28	5,28	4,95	5,63	3,83	4,94
E	340	25	50,29	1,010	0,045	9,97	5,21	5,27	5,04	7,55	3,90	5,03
F	333	29	28,28	1,040	0,037	7,39	3,85	3,85	3,40	3,99	3,00	3,87
G	327	27	37,79	1,060	0,026	8,43	4,40	4,68	4,56	4,51	3,52	4,54
H	329	27	34,72	1,050	0,028	8,11	4,23	4,46	4,34	4,34	3,35	4,32
I	321	36	43,15	1,080	0,026	8,93	4,66	5,05	4,92	4,78	3,80	4,90
J	333	28	10,00	1,037	0,036	4,39	1,20	1,25	1,20	1,24	0,93	1,20
K	338	27	16,95	1,018	0,044	5,77	1,58	1,61	1,54	1,65	1,19	1,53
L	342	21	17,84	1,007	0,041	5,95	1,63	1,64	1,58	1,70	1,22	1,57
M	318	39	17,27	1,080	0,024	5,62	1,54	1,68	1,65	1,58	1,27	1,64

W tabeli 2 podano tylko niektóre wyniki obliczeń strumieni czynnika suszącego w suszarce trójtaśmowej.

Punkt pomiaru wg rys.2	Parametry				Punkt pomiaru wg rys.2	Parametry			
	T	\dot{V}_L	\dot{V}_n	\dot{M}_n		T	\dot{V}_L	\dot{V}_n	\dot{M}_n
	K	M ³ /s	m ³ /s	kg/s		K	M ³ /s	m ³ /s	Kg/s
A	378	11,10	8,02	10,35	H	333	1,43	1,17	1,51
B	358	3,20	2,44	3,15	I	333	2,87	2,35	3,03
C	358	7,67	5,58	7,20	J	333	7,26	5,95	7,68
D	378	11,05	7,98	10,30	K	333	3,63	2,98	3,84
E	358	3,17	2,42	3,12	L	313	4,55	3,97	5,12
F	358	7,29	5,56	7,18	Ł	313	2,27	1,98	2,56
G	353	9,09	7,03	9,08	M	313	3,42	2,98	3,84

Tabela 2. Niektóre parametry czynnika suszącego w suszarce trójtaśmowej
Table 2. Some parameters of the drying agent in three-band drier.

Na podstawie wartości normalnych strumieni masowych \dot{M}_n podanych w tabeli 2 i analizy rozplywu czynnika suszącego w suszarce (rys. 2) można wykazać, że w charakterystycznych punktach pomiaru strumienie bilansują się: $\dot{M}_{nA} = \dot{M}_{nB} + \dot{M}_{nC}$; 10, 35 kg/s = 3,15 kg/s + 7,20 kg/s; $\dot{M}_{nD} = \dot{M}_{nE} + \dot{M}_{nF}$; 10,30 kg/s = 3,12 kg/s + 7,18 kg/s; $\dot{M}_{nG} = 2\dot{M}_{nH} + 2\dot{M}_{nI}$; 9,08 kg/s = 2·1,51 kg/s + 2·3,03 kg/s; $\dot{M}_{nJ} = \dot{M}_{nL} + \dot{M}_{nŁ}$; 7,68 kg/s = 5,12 kg/s + 2,56 kg/s. Świadczy to o tym, że w suszarce nie występują straty powietrza. Zapotrzebowanie na suche powietrze jest identyczne, jak w suszarce pięciotaśmowej $\dot{M}_{LZ} = 33,54$ kg s.p./s (rys.1).

Wnioski

1. Wartości rzeczywistych strumieni czynnika suszącego w suszarkach taśmowych różnią się od teoretycznych wartości zapotrzebowania na powietrze suszące. Teoretyczne wskaźniki są mniejsze od rzeczywistych.
2. Zbyt niska wilgotność względna zużytego czynnika suszącego w wyrzutniach powietrza suszarki świadczy o niewłaściwym wykorzystaniu tego czynnika. Wilgotność względna zużytego czynnika suszącego powinna być większa niż 60 – 70%.
3. Doboru parametrów czynnika suszącego i przepustnic powietrza w suszarkach taśmowych należy dokonywać doświadczalnie. Teoretyczne obliczenia mogą stanowić jedynie zgrubne wytyczne.

Bibliografia

- Alfa-Laval AB Tumba 1986. Alfa-Laval/Foodco getrockneteKartoffelwürfel- und Kartoffelgrießanlage, Handelsangebot.
- Binder H. 1996. Trockner für industrie und Landwirtschaft, Konserventechnische Informationen.
- Domagała A. 1996. Metodyka pomiarów w inżynierii przemysłu spożywczego, PWRiL, s. 130-132.
- Häussler F. 1970. Zastosowanie wykresu i-x w inżynierii sanitarnej, Arkady, s. 18-21.
- Janus P. 2003. Statische Charakteristiken von Luftheritzern, Obst- , Gemüse und Kartoffelverarbeitung, 88, 5-6: s.18-21.

FLOWS OF THE AGENT IN BAND DRIERS FOR DRYING VEGETABLES

Summary

The flows of drying agent were investigated in two industrial band driers at drying of sliced celery roots. Two driers were tested: a five-band drier with belt conveyors spaced in parallel and three-band drier with belt conveyors arranged in row. Following data were given in the paper: real values of drying agent streams-flowing into drying chambers, recirculation and flowing out from the air outlet. Drying agent steams determined experimentally were compared with the amounts of drying air required theoretically.

Key words: band drier, vegetable drying, drying agent stream, recirculation.

Recenzent – Tadeusz Lis