

## SUSZENIE ZRĘBKÓW DRZEWNYCH W SUSZARCE FONTANNOWEJ Z CYKLICZNYM MIESZANIEM ZŁOŻA

Stanisław Peroń, Mariusz Surma, Zbigniew Zdrojewski

*Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** Badano wpływ temperatury powietrza na proces suszenia zrębków drzewnych. Zrębki suszono w laboratoryjnej suszarce fontannowej. Doświadczenie prowadzono przy temperaturze 40, 50, 60, 70°C, przy stałej wysokości złoża ok. 160 mm i stałej prędkości czynnika suszącego 0,3 m s<sup>-1</sup>. Określono szybkość suszenia oraz wartość strumienia wilgoci z jednostki objętości komory suszenia. Wyniki przedstawiono w postaci wykresów oraz równań korelacyjnych.

**Słowa kluczowe:** zrębki drzewne, suszenie, suszarka fontanna

### Wykaz oznaczeń

- A – stała równania [-],
- B – współczynnik szybkości suszenia [1 min<sup>-1</sup>],
- u – zawartość wody w surowcu [kg kg<sup>-1</sup>],
- t – temperatura czynnika suszącego [°C],
- v – prędkość czynnika suszącego [m s<sup>-1</sup>],
- q<sub>v</sub> – średni strumień wilgoci z 1 m<sup>3</sup> pojemności komory suszenia [kg m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>]
- τ – czas [min].

### Wstęp i cel pracy

Zrębki są rozdrobnionym drewnem o grubości ok. 1 cm i długości 2-5 cm. Wilgotność świeżych zrębków waha się w granicach 50-60% i powinny być one suszone [Rybak 2006] ze względu na:

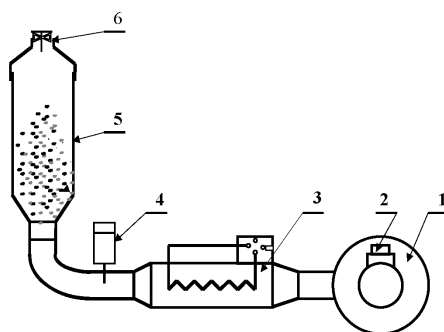
- możliwość ich pleśnienia i emisję szkodliwych dla zdrowia zarodników,
- podwyższenie kaloryczności i sprawności termicznej spalania,
- wymogi technologiczne (np. dla palenisk o małych mocach wilgotność zrębków nie powinna przekraczać 30%).

Jak wynika z doniesień praktyków od szeregu lat istnieją próby zastosowania suszarek kanałowych, silosów a nawet suszarek komorowo-daszkowych do suszenia zrębków [Pringle, Pan 1996]. Jedną z prostszych suszarek którą można by ewentualnie zastosować do tego celu jest suszarka fontanna umożliwiająca prowadzenie procesu suszenia w złożu wrzącym (fontannowym), w złożu statycznym bądź w złożu nieruchomym cyklicznie mieszanym strumieniem powietrza.

Celem pracy było zbadanie dynamiki wysychania zrębków topoli w laboratoryjnej suszarce fontannowej (w warunkach stałego złoża z cyklicznym jego mieszaniem) w zależności od temperatury suszenia.

## Stanowisko pomiarowe i metodyka badań

Rysunek 1 przedstawia schemat suszarki fontannowej, w której prowadzono doświadczenia. Wentylator tłoczył powietrze kolejno przez nagrzewnicę elektryczną z regulatorem temperatury oraz stożkowo-cylindryczną komorę suszarki o pojemności ok. 0,015 m<sup>3</sup> wypełnioną materiałem. Komora wykonana częściowo ze szkła organicznego posiadała podziałkę milimetrową umożliwiającą pomiar wysokości warstwy surowca z dokładnością  $\pm 5$  mm. Średnica części cylindrycznej komory wynosiła 0,19 m, całkowita wysokość 0,62 m. Kąt rozwarcia stożka dolnej części komory wynosił 60°. Dno komory podtrzymującej warstwę surowca stanowiła siatka stalowa o oczkach 2x2 mm. Zasuwa umieszczona po stronie ssącej wentylatora umożliwiała regulację przepływu powietrza przez złożę surowca.

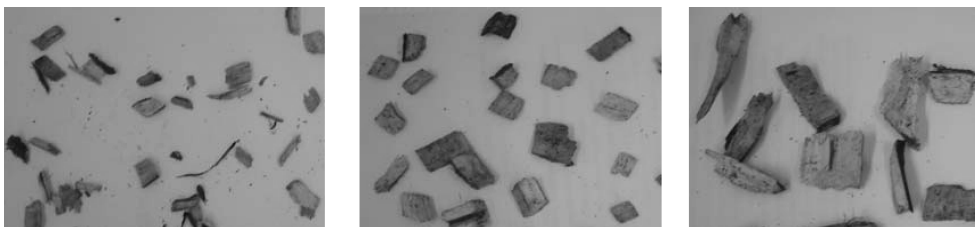


Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – wentylator, 2 – zasowa regulacyjna, 3 – nagrzewnica z regulatorem temperatury, 4 – termopara, 5 – komora suszenia, 6 – króciec pomiarowy

Fig. 1. Scheme of the experimental stand: 1 – fan, 2 – control damper, 3 – heater with a temperature controller, 4 – thermoelement, 5 – drying chamber, 6 – measuring element

Do badań użyto świeżych zrębków topoli (*Populus tremula*) o wilgotności 44%. Pomiar gęstości właściwej i usypowej przeprowadzono wg Normy PN 770-04101. Przygotowanie materiału do badań polegało na pobraniu próby z partii materiału (2000 g) i podzieleniu jej na 4 równe części. W ćwiartce próby (ok. 500 g) określano wilgotność w suszarce laboratoryjnej oraz udziały masowe poszczególnych frakcji cząstek na sitach.

Po tych czynnościach próby o masie 500 g wsypywano do suszarki fontannowej i suszono. Suszenie prowadzono w temperaturze 40, 50, 60, 70°C przy wysokości złoża ok. 160mm i prędkości czynnika suszącego 0,3 m s<sup>-1</sup>. Pomiaru ubytku masy suszonego materiału dokonywano początkowo co 5 minut (pierwsze 3 pomiary) a następnie co 15 minut. Po każdym pomiarze następowało szybkie przemieszanie warstwy strumieniem powietrza. Komorę suszarki wraz z próbą ważono na wadze WPE 10 z dokładnością  $\pm 1$  g.



Rys. 2. Fotografie frakcji zrębków (0-10 mm, 10-30 mm, 30-50 mm)

Fig. 2. Picture of wood chips (0-10 mm, 10-30 mm, 30-50 mm)

Szybkość suszenia obliczano na podstawie ubytków wody w surowcu. Średni objętościowy strumień wilgoci  $q_v$  obliczano odnosząc ubytki masy próbki do  $1\text{m}^3$  objętości komory suszenia i do czasu 1 godziny. Temperaturę czynnika suszącego mierzono termoparą Cu Ko z dokładnością  $\pm 1^\circ\text{C}$  a jego prędkość anemometrem skrzydełkowym AA 2113 z dokładnością  $\pm 0,05\text{ m s}^{-1}$ . Wilgotność względną i temperaturę otoczenia mierzono psychrometrem Assmana i termoparami Cu Ko. Czas mierzono zegarem z sekundnikiem. Każdy pomiar powtarzano trzykrotnie.

Porowatość statyczną złoża granul  $\varepsilon_o$  określano z zależności [Ciborowski 1965]:

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

## Wyniki badań

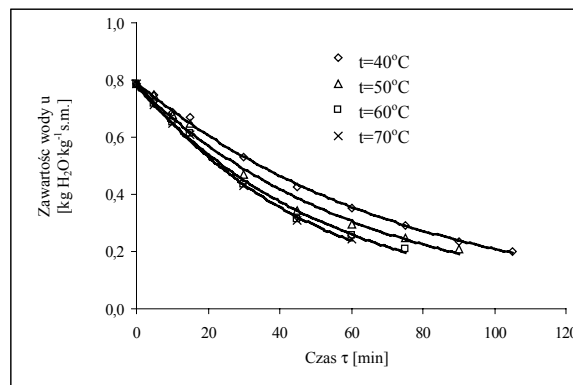
W tabeli 1 przedstawiono udziały wagowe cząstek świeżych zrębków topoli o wilgotności 44% o średniej gęstości właściwej  $\rho=570\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , średniej gęstości usypowej  $\rho_u=255\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  i średniej porowatości spoczynkowej  $\varepsilon_o=55\%$ . Dodatkowo na rys. 2 pokazano fotografie zrębków.

Tabela 1. Frakcje świeżych zrębków

Table 1. Fractions of fresh chips

Frakcje wymiarowe [mm]	do 10	od 10 do 30	od 30 do 50	powyżej 50
Udział wagowy [%]	8,1	54	35	2,9

Wpływ temperatury czynnika suszącego na spadek zawartości wody w złożu zrębków suszonych od zawartości wody  $u=0,8\text{ kg H}_2\text{O kg}^{-1}\text{ s.m.}$  do około  $u=0,2\text{ kg H}_2\text{O kg}^{-1}\text{ s.m.}$  przy prędkości czynnika suszącego  $v=0,3\text{ m s}^{-1}$  i wysokości warstwy  $H_o=165\text{ mm}$  przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Spadek zawartości wody  $u$  w surowcu w czasie  $\tau$  przy różnych temperaturach czynnika suszącego

Fig. 3. Drop of water content  $u$  in the material in time  $\tau$  at different values of drying medium temperature

Jak wynika z przebiegu krzywych suszenia w miarę wzrostu temperatury powietrza czas suszenia zrębków ulegał znacznemu skróceniu. Na przykład dla temperatury 40°C wynosił ok. 110 minut. Przy podwyższeniu temperatury do 70°C uzyskano skrócenie czasu suszenia do ok. 60 minut.

Analiza spadków zawartości wody w czasie suszenia zrębków pozwoliła na określenie formuł opisujących ten proces. Pomijając pierwsze 5 minut procesu pozostałe punkty na krzywych można opisać równaniem wykładniczym w postaci:

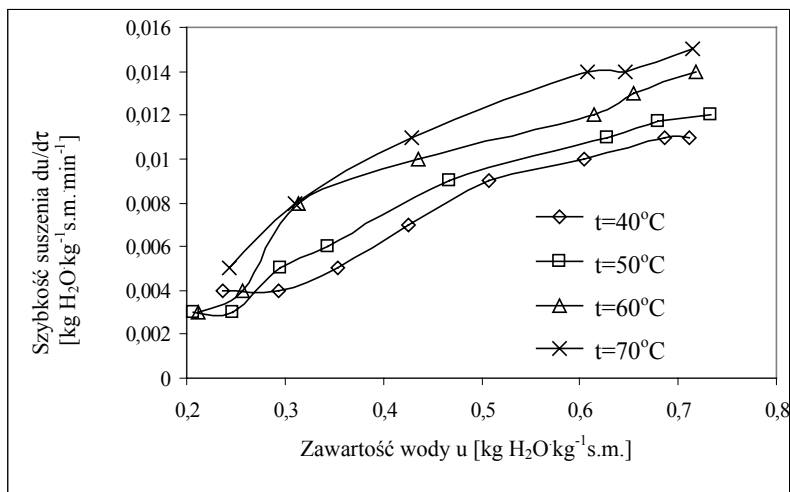
$$u = Ae^{B\tau} \quad (2)$$

W tabeli zamieszczono współczynniki  $A$  i  $B$  oraz współczynniki determinacji dla równania (2) w zależności od temperatury czynnika suszącego:

Tabela 2. Wartości współczynników równań i determinacji dla poszczególnych temperatur suszenia  
Table 2. The value of coefficients of equations and determination for individual temperatures the drying

Temperatura suszenia $t$	Współczynniki równania		Współczynnik determinacji $R^2$
	$A$	$B$	
$t=40^\circ\text{C}$	0,794	-0,0135	0,998
$t=50^\circ\text{C}$	0,778	-0,0155	0,986
$t=60^\circ\text{C}$	0,778	-0,0183	0,992
$t=70^\circ\text{C}$	0,791	-0,0201	0,997

Na rysunku 4 przedstawiono przebieg szybkości suszenia  $du/d\tau$  w zależności od temperatury czynnika suszącego.



Rys. 4. Przebieg zmian szybkości suszenia  $du/dt$  w funkcji zawartości wody  $u$  dla różnych temperatur suszenia. Wysokość warstwy suszenia  $H_0=165$  mm, prędkość powietrza  $v=0,3$  m s<sup>-1</sup>

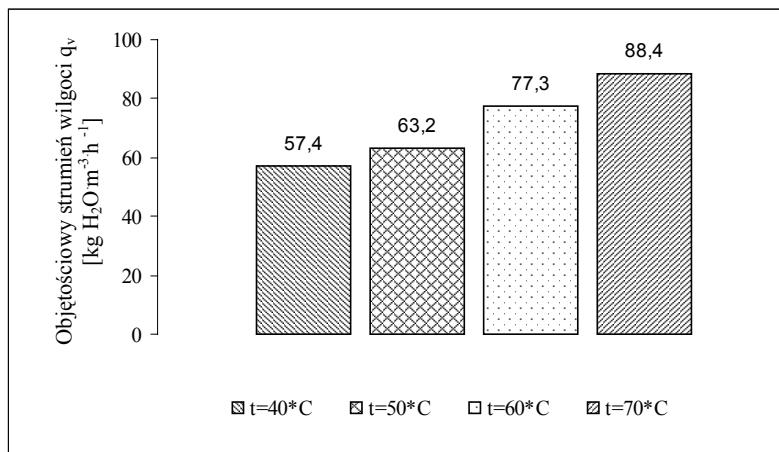
Fig 4. Trajectory of drying rate changes  $du/dt$  in function of water content  $u$  for different drying temperature values. Drying layer height  $H_0=165$  mm, air velocity  $v=0.3$  m s<sup>-1</sup>

Jak wynika z rys. 4 początkowo szybkość suszenia zrębków (pierwsze 5 minut procesu) dla temperatury 40°C wyniosła ok. 0,11 kgH<sub>2</sub>Okg<sup>-1</sup>s.m. min<sup>-1</sup>. Podwyższenie temperatury suszenia do 70°C w analogicznym etapie procesu spowodowało ok. 37% wzrost  $du/dt$ . Różnice w szybkości suszenia dla wspomnianych temperatur utrzymywały się w przybliżeniu do osiągnięcia przez surowiec zawartości wody  $u \approx 0,3$  kgH<sub>2</sub>Okg<sup>-1</sup>s.m. min<sup>-1</sup>. Po przekroczeniu tej wartości  $u$  różnice w  $du/dt$  wyraźnie maleją.

Średnio biorąc wzrost temperatury czynnika suszącego z 40°C do 70°C przy zachowaniu stałości pozostałych parametrów procesu spowodował wzrost średniej szybkości suszenia o ok. 35%.

Jednym z ważniejszych czynników charakteryzujących pracę suszarki jest wielkość objętościowego strumienia wilgoci  $q_v$ . Średnie wartości  $q_v$  dla różnych temperatur suszenia przedstawiono na rysunku 5.

Jak wynika z histogramu, przy temperaturze czynnika suszącego równej 40°C wartość objętościowego strumienia wilgoci wynosiła ok. 57kg H<sub>2</sub>O m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>. Podwyższenie temperatury czynnika do 70°C skutkowało wzrostem  $q_v$  do ok. 88 kg H<sub>2</sub>O m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>.



Rys. 5. Zależność średniego objętościowego strumienia wilgoci  $q_v$  od temperatury czynnika suszącego. Wysokość warstwy  $H_0=165$  mm, prędkość czynnika suszącego  $v=0,3$  m s<sup>-1</sup>  
 Fig. 5. Relationship between average volumetric moisture stream  $q_v$  and drying medium temperature. Drying layer height  $H_0=165$  mm, drying medium velocity  $v=0.3$  m s<sup>-1</sup>

## Wnioski

1. Pomijając pierwsze 5 min procesu spadek zawartości wody w zrébkach można opisać równaniem wykładniczym w postaci:

$$u = Ae^{-Bt}$$

Przy współczynnikach determinacji  $R^2$  wynoszących od 0,992 do 0,998.

2. Wzrost temperatury czynnika suszącego z 40°C do 70°C przy zachowaniu stałości pozostałych parametrów procesu spowodował wzrost średniej szybkości suszenia  $du/dt$  o ok. 35% oraz wzrost średniego objętościowego strumienia wilgoci  $q_v$  o ok. 50%.

## Bibliografia

- Ciborowski J.** 1965. Podstawy inżynierii chemicznej. WNT Warszawa.
- Pringle R., Pan J.M.** 1996. Deep bin drying experiment. Scottish Agricultural College. Aberden. UK. s. 21-27.
- Rybak W.** 2006. Spalanie i współspalanie biopaliw stałych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. ISBN 83-7085-938-0.

## **DRYING OF WOOD CHIPS IN A FOUNTAIN DRIER WITH CYCLIC BED MIXING**

**Abstract.** The research focused on the impact of air temperature on wood chips drying process. The chips were subject to drying in a laboratory fountain drier. The experiment was carried out at the temperature of 40, 50, 60, and 70°C, at approximate constant bed height 160 mm and constant drying medium velocity 0.3 m s<sup>-1</sup>. The experiment allowed to determine drying rate and the value of moisture stream from drying chamber volume unit. The results are shown in form of diagrams and correlation equations.

**Key word:** wood chips, drying, spouted dryer

**Adres do korespondencji:**

Stanisław Peroń [stanislaw.peron@up.wroc.pl](mailto:stanislaw.peron@up.wroc.pl)  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
ul Chełmińskiego 37/41  
51-630 Wrocław