

## BILANS CIEPLNY SUSZARKI OWOCÓW W ZALEŻNOŚCI OD WARUNKÓW PROCESU SUSZENIA

*Helena Lis, Wojciech Kropornicki, Małgorzata Magdalena Lis*

Wydział Inżynierii Produkcji, Akademia Rolnicza  
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin  
e-mail: hellis@faunus.ar.lublin.pl

**Streszczenie.** Sporządzono bilans cieplny suszarki przy suszeniu jabłek oraz śliwek w cyklu ciągłym, jak również przy zastosowaniu przerw nocnych. Sprawność cieplna kotła parowego przy spalaniu drewna wynosiła 75,7%, a parowej nagrzewnicy powietrza zaledwie 18-22% entalpii pary grzejnej, natomiast całego urządzenia grzejnego 14-17%. Zastosowanie przerw nocnych przy suszeniu jabłek skraca czas efektywnego suszenia o 21% (o 5 godzin), jak również pozwala zaoszczędzić znaczne ilości opału i energii elektrycznej w porównaniu z suszeniem bez tych przerw.

**Słowa kluczowe:** suszarka owoców, bilans cieplny

### WYKAZ OZNACZEŃ

$A$  – pole przekroju poprzecznego kanału powietrznego ( $m^2$ ),  
 $c_{pg} = 1,0056$ ,  $c_{pw} = 1,858$  – ciepło właściwe powietrza suchego oraz pary wodnej w temperaturze  $0^\circ C$  ( $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ),  
 $D$  – wydajność kotła parowego,  
 $i_p$  – entalpia przegrzanej pary wodnej ( $kJ \cdot kg^{-1}$ ),  
 $i_{(1+x)1}$ ;  $i_{(1+x)2}$ ,  $i_{(1+x)3}$  – entalpia powietrza odpowiednio: otoczenia, napływającego do suszarki, opuszczającego suszarkę ( $kJ \cdot kg^{-1}$ ),  
 $I_p$  – entalpia pary ( $kJ \cdot kg^{-1}$ ),  
 $(I_2 - I_1)$  – przyrost entalpii powietrza w nagrzewnicy (MJ),  
 $x$  – zawartość wody w powietrzu (stopień zawilżenia),  $kg \cdot H_2O \cdot kg^{-1}$  gazów suchych,  
 $M_0$ ;  $M_K$  – wsad surowca, masa uzyskanego suszu w 1 cyklu (kg),  
 $M_{w_0}$ ,  $M_{w_K}$ ,  $M_w$  – masa wody: w surowcu, w suszu, wyparowana z surowca (kg),  
 $m_d$  – masa spalonego opału w cyklu suszenia (kg),  
 $t_1$ ;  $t_2$ ;  $t_3$  – temperatura powietrza odpowiednio – przy wlocie do nagrzewnicy,  
 $t_m$  – temperatura mokrego termometru otaczającego powietrza ( $^\circ C$ ),

$w_o; w_k$  – wilgotność względna surowca i suszu (%),  
 $W_u$  – wartość opałowa drewna ( $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),  
 $(p_w'')_{t_1}; (p_w'')_{t_2}$  – ciśnienie nasycenia pary wodnej w temperaturach  $t_1; t_2$  (Pa) [6],  
 $p_g$  – ciśnienie powietrza suchego (Pa),  
 $r_o = 2501 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  – ciepło parowania wody w punkcie potrójnym,  
 $r = (I_2 - I_1)/M_w$  – wskaźnik ilości doprowadzonego ciepła na wyparowanie 1 kg wody w suszarce ( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),  
 $\eta_K = I_p/Q_d$  – sprawność kotła parowego,  
 $\eta_N = (I_2 - I_1)/I_p$  – sprawność nagrzewnicy powietrza,  
 $\rho_{1+x}$  – gęstość powietrza wilgotnego,  $(1+x \text{ kg})\cdot\text{m}^{-3}$ ,  
 $\tau$  – czas suszenia (s, h),  
 $\varphi_1 = p_w/p_w''$  – wilgotność względna powietrza zasilającego suszarkę,  
 $\varphi_2$  – wilgotność względna powietrza po ogrzaniu,  
 $v_{sr}$  – średnia prędkość przepływu powietrza przy wlocie kanału suszarki ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  
 $\dot{V}$  – natężenie przepływu powietrza przez suszarkę ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ),  
 $Q_d$  – energia cieplna ze spalania paliwa (MJ),  
 $Q_m$  – energia cieplna na ogrzanie materiału (MJ),  
 $Q_{odl.}$  – energia cieplna gazów odlotowych (MJ).

## WSTĘP

W okresie przedakcesyjnym Polski z Unią Europejską, gdy handel opierał się na Układzie Stowarzyszeniowym, w latach 1993-2003 ponad pięciokrotnie wzrósł przywóz do Polski suszy owocowych (z 1,1 do 5,1 tys. t), natomiast eksport suszy przez Polskę zmniejszył się niemal pięciokrotnie (z 6,2 do 2,2 tys. ton – tab. 1), co znacznie ograniczyło ich produkcję. W okresie tym w naszym kraju nie było dopłat do rolnictwa, ani do eksportu, podczas gdy dopłaty w UE<sub>15</sub> były szacowane na 100,5 mld dolarów rocznie, co intensyfikowało eksport unijny [3].

**Tabela 1.** Polski eksport i import suszy owocowych  
**Table 1.** Polish export and import of dried fruits

Rok – Year	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Eksport tys. t	6,2	2,4	0,3	0,6	2,0	1,2	1,2	1,5	1,4	1,8	2,2
Export thousand t											
Import tys. t	1,1	1,5	2,0	2,4	3,3	3,3	4,6	4,5	5,7	5,1	5,9
Import thousand t											

W UE liczącej aktualnie 25 krajów udział Polski w łącznej produkcji owoców strefy umiarkowanej wynosi około 12% i zaledwie 8% w produkcji warzyw. W nowych krajach członkowskich zbiory produktów ogrodnictwa stanowią

około 60% produkcji w UE. Polska w ramach UE<sub>25</sub>, jest największym producentem wiśni, porzeczek, kapusty, marchwi, drugim producentem truskawek, a trzecim (po Francji i Włoszech) producentem jabłek. Niestety Polska nie liczy się w sprzedaży owoców deserowych, mimo, iż ceny polskich owoców i ich przetworów są niższe, niż w większości krajów Wspólnoty. Dla przykładu w sezonie 2003/2004 ceny jabłek deserowych (w euro za 1 kg) wynosiły: w Polsce 0,23; w Belgii 0,37; w Niemczech 0,49 [5].

W 2003 roku zbiory owoców w Polsce wyniosły 3,3 mln ton – były wyższe o 9,6%, w porównaniu z 2002 rokiem. Integracja spowodowała naszą rezygnację z ochrony rynku wewnętrznego. Cła w imporcie unijnym były niższe, niż w przywozie do naszego kraju. W 2003 roku w UE<sub>15</sub> wzrost PKB wyniósł 0,3%, a czynnikiem wspierającym wzrost gospodarczy była wymiana handlowa z innymi krajami. Po integracji istnieje możliwość skorzystania z dopłat do tworzenia i funkcjonowania uznanych grup i organizacji producentów oraz dopłat do eksportu niektórych produktów z tej grupy – głównie do jabłek i pomidorów [5].

Dla uzyskania suszu potrzebne są znaczne ilości energii cieplnej oraz elektrycznej, zależne od sprawności urządzeń cieplnych suszarki i warunków procesu suszenia. W tradycyjnych suszarkach tytoniu sprawność cieplna urządzeń grzejnych (złożonych z pieca i wymiennika) waha się od 65 do 77%, natomiast rurowych, jednoprzewodowych wymienników ciepła wynosi 76-85% [1]. W suszarkach chmielu sprawność podgrzewaczy przeponowych wynosi 68-69% [6].

Celem pracy było wyznaczenie najważniejszych pozycji bilansu materiałowego i cieplnego suszarki przemysłowej podczas suszenia owoców w cyklu ciągłym oraz przy zastosowaniu przerw nocnych. Bilans materiałowy dotyczy ilości surowca, suszu i wyparowanej wody w cyklu suszenia. Bilans cieplny obejmuje podstawowe pozycje: zużycie paliwa i ilość ciepła z paliwa, entalpię pary wodnej uzyskanej w kotle parowym, sprawność kotła parowego, przyrost entalpii powietrza w nagrzewnicy parowej i jej sprawność cieplną.

#### WARUNKI, METODYKA I PRZEBIEG BADAŃ

Badania suszarki prowadzone były podczas suszenia jabłek (plastrów o grubości 10 mm) i całych śliwek w cyklu ciągłym i przerywanym w okresie nocy, w dwóch powtórzeniach. Suszarka (tab. 2) usytuowana jest wewnątrz budynku – dlatego pominięto straty ciepła wskutek przenikania. Posiada ona kocioł parowy zasilający nagrzewnicę powietrza. Zużycie energii elektrycznej do napędu wentylatorów mierzone było licznikiem, z dokładnością 0,1 kWh. Masę surowca, suszu i paliwa ważono z dokładnością 0,1 kg.

Dla oznaczenia wilgotności trzy średnie próbki rozdrobnionych owoców, o masie około 100 g, ważono z dokładnością 0,001 g i suszono w suszarce próżniowej

w temperaturze 70°C do uzyskania stałej masy. Entalpia ogrzania powietrza obliczana była na podstawie ciągłych lub codziennych pomiarów temperatury, wilgotności względnej (psychrometrem Assmanna, termohygrografami) i ciśnienia atmosferycznego w cyklu suszenia.

**Tabela 2.** Charakterystyka suszarki „Leśniczanka”  
**Table 2.** Characteristics of “Leśniczanka” drier

Wyszczególnienie – Specification	Parametry – Parameters
Powierzchnia ładowna – Loading surfach	60 m <sup>2</sup>
Ładowność na – Load capacity) 1 m <sup>2</sup> (1 sita)	5-10 kg surowca – raw materials
Ciśnienie pary – Steam pressure	51-304 kPa (0,52-3,1 at)
Zapotrzebowanie pary przy ciśnieniu – Demand for steam at pressure/ 304 kPa (3,1 at)	50-100 kg·h <sup>-1</sup>
Wentylator osiowy – Axial fan $\phi$ 900 mm	2 szt. – double
Moc zainstalowana – Power installed	6,5 KW
Przepływ powietrza w kanale wlotowym załadowanej suszarki	1152 m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>
Air flow in the inlet duct of loaded dryer	

Kocioł parowy opalano drewnem bukowym. Ciepło uzyskane z opału wynosiło:

$$Q_{op} = m_d W_u \quad (1)$$

Temperaturę i ciśnienie pary wodnej mierzono miernikami zainstalowanymi na kotle. Ilość ciepła dostarczonego do nagrzewnicy powietrza przez przegrzaną parę wodną w cyklu suszenia wyniosła:

$$I_p = i_p D \tau \quad (2)$$

Przyrost entalpii powietrza w nagrzewnicy, czyli ilość ciepła wykorzystaną na ogrzanie powietrza w cyklu suszenia wyliczono ze wzoru o postaci:

$$Q_{I-2} = (I_2 - I_1) = \left[ \dot{V} \cdot \rho_{I+x} (i_{(I+x)2} - i_{(I+x)1}) \right] \tau \quad (3)$$

Pomiar prędkości przepływu powietrza w kanałach mierzono anemometrem skrzydełkowym przy załadowanej surowcem suszarce, a jego objętość wynosiła:

$$\dot{V} = A \cdot v_{sr} \quad (4)$$

Entalpię powietrza nienasyconego obliczano w odniesieniu do 1 kg powietrza suchego ze znanego wzoru o postaci:

$$i_{(I+x)} = t \cdot c_{pg} + x \cdot (c_{pw} \cdot t + r_o) \quad [kJ (1 \text{ kg gazu} + x)^{-1}] \quad (5)$$

uwzględniając zawartość wody w otaczającym powietrzu, napływającym do nagrzewnicy ( stałą w procesie jego ogrzewania), która była obliczana ze wzoru o postaci:

$$x_1 = x_2 = 0,622 \frac{\varphi_1 p_{w_1}''}{p - (\varphi_1 p_{w_1}''')} \text{ kg / kg } \text{ kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ gazów suchych.} \quad (6)$$

Wilgotność względna powietrza otoczenia  $\varphi_1$  była mierzona psychrometrem, a czynnika suszącego – ze względu na wysoką temperaturę – obliczana, przy założeniu stałego ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia cząstkowego powietrza suchego, lecz zmieniającego się ciśnienia nasycenia pary wodnej – wraz ze wzrostem temperatury, ze wzoru o postaci

$$\varphi_2 = \varphi_1 \cdot \frac{(p_w'')_{t_1}}{(p_w'')_{t_2}} \quad (7)$$

Gęstość wilgotnego powietrza obliczono ze wzoru o postaci

$$\rho_{1+x} = \left[ \frac{p_g}{R_g} + \frac{p_w}{R_w} \right] \cdot \frac{1}{T} (1+x \text{ kg}) \cdot \text{m}^{-3} \quad (8)$$

Dzieląc różnicę entalpii powietrza przy wylocie i wlocie nagrzewnicy (3), czyli ilość ciepła wykorzystaną na ogrzanie powietrza w cyklu suszenia, przez ilość wyparowanej wody uzyskano wskaźnik jednostkowego wykorzystania ciepła na wyparowanie wody:

$$r = (I_2 - I_1) / M_w \text{ (kJ} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (9)$$

Masę wody usuniętą z surowca w cyklu suszenia obliczono z różnicy masy surowca i suszu.

Ciepło na podgrzanie surowca oszacowano przy założeniu, iż w momencie załadunku miał on temperaturę identyczną z mokrym termometrem dla otaczającego powietrza i był ogrzewany do temperatury czynnika suszącego napływającego do suszarki. Korzystano ze wzoru o postaci

$$Q_m = M_0 \cdot c \cdot (t_2 - t_m) \quad (10)$$

w którym: ciepło właściwe ( $c$ ) dla świeżych jabłek wynosiło  $c_j = 4,006 \text{ kJ kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  [2], a dla śliwek  $c_s = 3,758 \text{ kJ kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  [6]).

## WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki badań zestawione zostały w tabelach 3-5. Sprawność cieplna kotła parowego przy spalaniu drewna (o wartości opałowej  $12 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) wynosiła 75,7%, podczas gdy dla opalanych drewnem kotłów Żubr wynosi 87%, a Buderus – 78-85%.

Sprawność nagrzewnicy powietrza była bardzo niska (wynosiła 18-22% entalpii pary grzejnej). Straty ciepła w kotle i nagrzewnicy wynosiły 83-86%. Sprawność cieplna urządzenia grzejnego badanej suszarki, złożonego z kotła parowego oraz parowej nagrzewnicy powietrza, wynosiła 14-17%, podczas gdy w suszarniach tytoniu sprawność cieplna urządzeń grzejnych (złożonych z pieca i rurowego wymiennika spaliny-powietrze) waha się od 65 do 77% lub w suszarniach chmielu od 68 do 69% [6].

Ciśnienie manometryczne pary w kotle wynosiło zaledwie 39,227-68,646 kPa (0,4-0,7 at), a dla tego zakresu ciśnień temperatura pary nasyconej wynosi zaledwie 75-89°C. Parę tę przegrzewano do 104-110°C (tab. 3).

**Tabela 3.** Parametry pary wodnej zasilającej nagrzewnicę powietrza

**Table 3.** Parameters of water vapour feeding the air-steam heater

Cykl suszenia – Drying cycle	Ciśnienie Pressure		Temper. (°C)	Entalpia Enthalpy (kJ·kg <sup>-1</sup> )	Moc kotła Power of boiler (kW)
	kPa	(at)			
Jabłka – ciągły, Apples – continuous	39,227	(0,4)	103,7	2689	95,61
Jabłka – przerywany, Apples – intermittent	49,033	(0,5)	105,7	2694	95,79
Śliwki – ciągły, Plums – continuous	58,840	(0,6)	107,7	2711	96,40
Śliwki – przerywany, Plums – intermittent	68,646	(0,7)	109,7	2728	97,01

Można zalecić zwiększenie ciśnienia pary do 3 at (294,200 kPa), co spowoduje wzrost temperatury nasycenia do 133°C. Lekkie przegrzanie pary pod tym ciśnieniem zintensyfikuje przenikanie ciepła od pary do powietrza w nagrzewnicy i polepszy jej sprawność. Celowe może być zwiększenie powierzchni wymiany ciepła nagrzewnicy powietrza. Powietrze ogrzewane w nagrzewnicy parowej miało stabilną temperaturę. Średnie parametry powietrza przy wlocie i wylocie nagrzewnicy zostały zestawione w tabeli 4.

Nagrzewnica powietrza miała trochę większą sprawność (22% entalpii pary grzejnej), gdy napływało do niej powietrze o najniższej temperaturze (5°C), gdyż wtedy wzrost jego temperatury był największy (o 52°C). Najniższa sprawność cieplna nagrzewnicy powietrza wynosiła zaledwie 18%, gdy temperatura powietrza wlotowego była najwyższa (19°C) a jej wzrost w nagrzewnicy wyniósł tylko

45°C. W pierwszym przypadku na ogrzanie powietrza przy suszeniu jabłek (w cyklu ciągłym) wykorzystywano 17% ciepła uzyskanego przy spalaniu drewna, a w drugim (przy suszeniu śliwek) zaledwie około 14% (tab. 5).

**Tabela 4.** Średnie parametry powietrza w cyklach suszenia  
**Table 4.** Average parameters of air in drying cycles

Cykl suszenia Drying cycle	Przed nagrzewnicą – Before heater					Za nagrzewnicą – After heater			
	$t_1$ (°C)	$\varphi_1$ (%)	$p$ (hPa)	$\rho_{1+x}$ (kg·m <sup>-3</sup> )	$i_{(1+x)1}$ (kJ·kg <sup>-1</sup> )	$t_2$ (°C)	$\varphi_2$ (%)	$x_1$ (g·kg <sup>-1</sup> p.s.)	$i_{(1+x)2}$ (kJ·kg <sup>-1</sup> )
Jabłka Apples									
ciągły continuous	4,6	51	1013	1,269	10,64	56,9	3	2,42	63,50
przerywany intermittent	5,0	60	1011	1,264	13,00	55,7	3	3,22	64,42
Śliwki Plums									
ciągły continuous	18,6	67	1003	1,190	40,17	63,5	6	8,69	86,13
przerywany intermittent	17,5	61	1016	1,213	35,24	61,9	5	6,94	80,57

**Tabela 5a.** Bilans materiałowy oraz cieplny suszarki owoców w ciągłym i przerywanym cyklu suszenia  
**Table 5a.** Material and heat balance of the fruit drier in continuous and discontinuous cycles of drying

Cykl suszenia Drying cycle	Czas suszenia time of drying (h)	Masa – Mass (kg)			Wilgotność suszu Humidity of dried material (%)		Zapotrzebowanie na 1 tonę suszu Demand per 1 ton of dry material		Zapotrzebowanie na 1 tonę wyparowanej wody Demand per 1 ton of evaporated water	
		surowca raw material	suszu dry material	od- pa- rowa- nie wody	surowca raw material	suszu dry material	drewna wood (kg)	energii elektr. energy (kWh)	drewna wood (kg)	energii elektr. energy (kWh)
Jabłka Apples										
ciągły continuous	29	933	114	819	83,7	6,5	9640	1460	1342	203,3
przerywany intermittent	24	925	113	812	83,7	8,4	8053	1285	1121	178,8
Śliwki Plum										
ciągły continuous	40	1112	198	914	85,5	24,1	7657	1446	1659	248,3
przerywany intermittent	37	1048	187	861	85,5	21,1	7497	1176	1628	255,5

**Tabela 5b.** Bilans materiałowy oraz cieplny suszarki owoców w ciągłym i przerywanym cyklu suszenia**Table 5b.** Material and heat balance of the fruit drier in continuous and discontinuous cycles of drying

Cykl suszenia Drying cycle	Q <sub>d</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>2</sub> -I <sub>1</sub>	η <sub>N</sub>	$\frac{I_2 - I_1}{Q_d}$	Q <sub>d</sub> /M <sub>w</sub>	r	Straty ciepła Loss of heat % Q <sub>d</sub>		
								nagrz. pow. heter of air	inne other	
	MJ	MJ	MJ	%	%	MJ·kg <sup>-1</sup>	kJ·kg <sup>-1</sup>	%	%	
Jabłka Apple	Ciągły continuous	1318	9982	2240	22,4	17,0	16,103	2736	58,7	1,5
	Przerywany intermittent	1092	8261	1796	21,7	16,4	13,448	2213	59,2	-
Śliwki Plum	Ciągły continuous	1819	13768	2520	18,3	13,8	19,904	2757	61,8	1,3
	Przerywany intermittent	1682	12735	2343	18,4	13,9	19,540	2722	61,8	1,1

sprawność kotła parowego – thermal efficiency of a steam boiler,  $\eta_K = 75,7\%$  .

Ilość ciepła na ogrzanie ładunku jabłek od temperatury mokrego termometru (otoczenia) do temperatury suszenia była stosunkowo niewielka, gdyż w odniesieniu do ciepła uzyskanego z paliwa, wynosiła przeciętnie 1,7% dla jabłek oraz 1,1% dla śliwek.

Ilość energii cieplnej wykorzystanej na wyparowanie wody (z jabłek) w cyklu ciągłym jest równoważna 15% energii dostarczonej (z paliwa), a w przerywanym znacznie więcej – 19%. Podczas przerw nocnych w ogrzewaniu – dalej przebiegał proces suszenia. Stąd też nie można ściśle określić, w jakim stopniu ciepło na przemianę fazową pochodziło z paliwa zasilającego suszarkę, a w jakim był to proces suszenia naturalnego. Jeżeli straty w kotle i nagrzewnicy powietrza wynosiły 83%, to na wykorzystanie ciepła w procesie suszenia oraz na pozostałe straty (z powietrzem odlotowym i na inne straty nieokreślone) pozostaje w bilansie 17%, czyli mniej, niż oszacowane ciepło na wyparowanie wody w cyklu przerywanym (19%).

Ilość drewna zużytego w suszarce na odparowanie 1 tony wody z jabłek w cyklu ciągłym była równa 1342 kg, natomiast w przerywanym była o 221 kg niższa, a zróżnicowanie zużycia prądu elektrycznego wynosiło 24,5 kWh. Stwierdzono, iż przerwy nocne w procesie suszenia jabłek są korzystne, gdyż pozwalają zaoszczędzić opał i energię elektryczną (tab. 5).



Na wysuszenie jabłek w ciągłym cyklu suszenia jabłek zapotrzebowanie na energię cieplną  $Q_d$  wynosiło 13,19 GJ, podczas gdy w przerywanym – 10,92 GJ. Przy suszeniu śliwek zapotrzebowanie na energię cieplną było znacznie wyższe, niż jabłek, bo wynosiło odpowiednio: 18,19 oraz 16,82 GJ. Całe śliwki (z pestkami), nie poddane wstępnemu ługowaniu, wymagały bowiem znacznie dłuższego czasu suszenia i wyższej temperatury powietrza, niż jabłka rozdrobnione na plastry (tab. 4 i 5). Wyjęcie pestek oraz wstępne ługowanie śliwek mogłoby skrócić czas suszenia.

Ze względu na możliwość zbytu tylko bardzo suchego suszu z jabłek jego wilgotność wynosiła zaledwie około 7%, a ze śliwek około 22% (zgodnie z obowiązującą normą PN-A75201:1993 wilgotność ta nie powinna przekraczać dla suszu jabłkowego 20%, a śliwkowego 35%). W związku z bardzo niską wilgotnością suszu – efektywny czas suszenia był bardzo długi (dla jabłek w cyklu z przerwą nocną wyniósł 24 godziny, a w cyklu ciągłym – 29 godzin, dla śliwek odpowiednio: 37 oraz 40 godzin – tab. 5).

Zastosowanie przerw nocnych przy suszeniu jabłek skraca czas efektywnego suszenia o 5 godzin. Przedłużenie czasu efektywnego suszenia jabłek w cyklu ciągłym wyniosło 21%.

Energia cieplna potrzebna na wyparowanie 1 kg wody, czyli ciepło parowania wody  $r$  wynikające z przyrostu entalpii powietrza w nagrzewnicy ( $I_2 - I_1$ ) w cyklu suszenia i ilości odparowanej wody ( $M_w$ ) była niewielka (tab. 5b), co świadczy o znacznym udziale naturalnego suszenia podczas przerw w ogrzewaniu.

Całkowite zapotrzebowanie na energię cieplną, uwzględniające ciepło ze spalania paliwa – w ciągłym cyklu suszenia jabłek wynosi 16,1 MJ·kg<sup>-1</sup> odparowanej wody, a w przerywanym 13,4 MJ·kg<sup>-1</sup>. Największe zapotrzebowanie wystąpiło jednak przy suszeniu całych śliwek w cyklu ciągłym (19,9 MJ·kg<sup>-1</sup> wody – tab. 5). W suszarniach chmielu z przepływowymi wymiennikami ciepła wynosi ono 7-10 MJ·kg<sup>-1</sup> [6], gdyż tam powietrze jest ogrzewane od spalin o wyższej temperaturze, niż od pary wodnej w badanej suszarce. Konieczne są dalsze prace badawcze dla zmniejszenia energochłonności procesu suszenia owoców.

## WNIOSKI

1. Przy opalaniu drewnem sprawność cieplna kotła parowego suszarki „Leśniczanka” wynosiła 76%.
2. Sprawność parowej nagrzewnicy powietrza nie była zadawalająca – z powodu niskiego ciśnienia pary i w związku z tym – dość niskiej temperatury (104-110°C) oraz ze względu na niewystarczającą powierzchnię wymiennika ciepła.
3. Zastosowanie przerw nocnych skraca czas efektywnego suszenia o 21% (przy suszeniu jabłek), co pozwala zaoszczędzić znaczne ilości opału i energii elektrycznej.

4. Dla odparowania 1 tony wody z jabłek w cyklu ciągłym spalono 1342 kg drewna (uzyskując 13,2 GJ), a w przerywanym w ciągu nocy – 1563 kg (10,9 GJ). Zapotrzebowanie prądu elektrycznego w ciągłym cyklu suszenia wynosiło 203 kWh na 1 tonę wody, a w przerywanym 179 kWh·t<sup>-1</sup>.

#### PIŚMIENNICTWO

1. **Lis H., Lis T.:** Oszacowanie bilansu cieplnego suszarń tytoniu w Polsce. Roczniki Nauk Rolniczych, 69-C-1, 101-125, 1969.
2. **Lis H., Wujec M., Lis T.:** Changes in the Thermophysical Properties of Apples in the process of Drying. Annual Review of Agricultural Engineering, 2(1), 105-115, 2000.
3. **Lis M. M., Lis H., Kropornicki W.:** Zapotrzebowanie i koszt energii w suszarce przemysłowej przy ciągłym oraz przerywanym cyklu suszenia. Inżynieria Rolnicza, 8, 263-270, 2003.
4. **Niesteruk R.:** Właściwości termofizyczne żywności. Wyd. Politechniki Białostockiej, 1996.
5. **Nosecka B. i in.:** Analizy Rynkowe. Rynek Owoców i Warzyw, 24, 1-23, 2004.
6. **Raźniewicz K.:** Tablice cieplne z wykresami. WNT Warszawa, 109-117, 1966.
7. **Samóń Z.:** Studia nad energooszczędnym suszeniem chmielu przy użyciu mieszanki powietrzno-spalinowej. Rozprawa doktorska. Zakład Inżynierii Suszarnictwa i Przechowalnictwa. Akademia Rolnicza w Lublinie, 2003.

#### HEAT BALANCE OF A FRUIT DRIER

*Helena Lis, Kropornicki Wojciech, Małgorzata Magdalena Lis*

Faculty of Agricultural Engineering, University of Agriculture, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin  
e-mail: hellis@faunus.ar.lublin.pl

**Abstract.** The heat balance was drawn up of the fruit drier when apple and plum drying in a continuous cycle, as well as with the use of night breaks. Thermal efficiency of a steam boiler with wood combustion was 75.5%, and that of an air steam stove only 18.3-22.4% of heating steam enthalpy, and only 14-17% for the whole heating unit. The use of night breaks in apple drying shortened the effective drying time by 21% (equal to 5 hours), as well as allowing the saving of significant amounts of fuel and electric energy in comparison with drying without the breaks.

**Key words:** fruit drier, continuous cycle, discontinuous cycle, heat balance