

Dr hab. inż. Zbigniew PAŁACHA, prof. SGGW

Inż. Joanna KRYSTIAN

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, SGGW w Warszawie

ANALIZA CZASU ZAMRAŻANIA WYBRANYCH OWOCÓW PRZY ZMIENNYCH PARAMETRACH PROCESU ZAMRAŻANIA®

Freezing time analysis of some fruits the variable parameters of freezing®

Słowa kluczowe: owoce, czas zamrażania, metody zamrażania.

W pracy prezentowanej w artykule przeprowadzono analizę czasu zamrażania 10 wybranych owoców (agrest, borówki, jabłka, jagody czarne, maliny, porzeczki czarne i czerwone, śliwki, truskawki i wiśnie). Obliczono i porównano czas zamrażania owoców, w zależności od zastosowanej metody zamrażania (owiewowa tradycyjna, owiewowa fluidyzacyjna, LIN i LIC) oraz temperatury końcowej owoców (-18 i -30°C). Niezależnie od zastosowanej metody zamrażania, najkrótszy czas zamrażania otrzymano dla jagód czarnych, a najdłuższy dla śliwek.

Key words: fruits, freezing time, freezing methods.

In the work presented in the article analyzes freezing time 10 selected fruits (gooseberries, red whortleberries, apples, blueberries, raspberries, black and red currants, plums, strawberries and cherries). Calculated and compared fruit freezing time, depending upon the freezing method (traditional air blast, fluidized bed, LIN and LIC) and the final temperature of the fruit (-18 and -30°C). Irrespective of the method freezing, the shortest freezing time obtained for blueberries and plums longest.

WSTĘP

Przy projektowaniu zamrażarek lub wyborze metody zamrażania konieczna jest znajomość dokładnego czasu trwania tego procesu. Precyzyjne określenie czasu zamrażania produktów spożywczych jest bardzo kłopotliwe, gdyż proces ten jest uzależniony od wielu wielkości zmiennych w czasie [9, 10].

W chwili obecnej są znane jedynie bardzo przybliżone wzory określające czas trwania tego procesu. Najbardziej znane i rozpowszechnione są wzory podane przez Planka i Rjutowa [1, 6]. Wzór Planka wraz z modyfikacjami stał się wyrażeniem klasycznym dla technologii zamrażalniczej. Jest on również włączony, jako wzór podstawowy, do zaleceń Międzynarodowego Instytutu Chłodziarstwa.

Do przybliżonego obliczania całkowitego czasu zamrażania zaleca się stosowanie uproszczonego wzoru Planka, operującego wyłącznie wartościami entalpii początkowej i końcowej, które mogą być ściśle określone. Dokładność wyników uzyskanych za pomocą tego wzoru jest duża. Udowodniono, że odchylenia od danych doświadczalnych wynoszą: dla płyt $\pm 5\%$, dla form prostopadłościennych $\pm 10\%$, dla kul i walców $\pm 7\%$ [1, 6]. Jest to dokładność wystarczająca do obliczeń technicznych i praktyki przemysłowej.

Wpływ na czas zamrażania ma wąska grupa dobrze już poznanych czynników. Wśród nich występują czynniki zależne od warunków, w jakich prowadzony jest proces, takie jak: współczynnik wnikania ciepła (α) i czynna różnica temperatury oraz czynniki zależne od rodzaju i właściwości fizycznych zamrażanego surowca, takie jak: wielkość, kształt, gęstość i przewodność cieplna właściwa [10]. Według badań Kluzy i Górala [4], dotyczących statystycznej

charakterystyki oddziaływania poszczególnych parametrów zamrażania surowców na efektywny czas trwania procesu, parametrem mającym największy wpływ na czas zamrażania był wymiar charakterystyczny materiału. Nieco mniejszym wpływem charakteryzowały się kształt surowca oraz współczynnik wnikania ciepła. Następnie kolejno: temperatura medium chłodzącego i rodzaj surowca. Najmniejszy wpływ wykazały temperatura początkowa oraz temperatura centrum termicznego surowca w końcowym etapie procesu zamrażania.

Celem artykułu jest zaprezentowanie analizy czasu zamrażania dziesięciu wybranych owoców. Zakres pracy obejmował obliczenie i porównanie czasu zamrażania owoców, w zależności od zastosowanej metody zamrażania oraz temperatury końcowej owoców.

METODYKA BADAŃ

1. Materiał badawczy

Materiałem badawczym wybranym do analizy czasu zamrażania były następujące owoce: agrest, borówki, jabłka, jagody czarne, maliny, porzeczki czarna i czerwona, śliwki, truskawki i wiśnie.

2. Założenia wstępne

Założono, że temperatura początkowa (t_p) wszystkich owoców przed procesem zamrażania wynosiła 15°C . Owoce zamrażano do średniej temperatury końcowej (t_e) -18 i -30°C . Entalpia owoców w temperaturze -40°C wynosiła 0 kJ/kg [1].

Owoce zamrażano czterema metodami: owiewową tradycyjną, owiewową fluidyzacyjną, w ciekłym azocie (LIN) i w ciekłym CO_2 (LIC).

3. Metody obliczeniowe

3.1. Obliczanie czasu zamrażania

Czas zamrażania owoców w kształcie kuli o średnicy d_e obliczano z równania [6]:

$$\tau_e = \frac{\Delta i \cdot \rho_z}{6\Delta t} \left(\frac{d_e}{\alpha} + \frac{d_e^2}{4\lambda_e} \right) \quad (1)$$

Czas zamrażaniu owoców w kształcie prostopadłościanu (kostka jabłka o boku $l_e = 10$ mm) obliczano z równania [6]:

$$\tau_e = \frac{\Delta i \cdot \rho_z}{\Delta t} \left(P \frac{l_e}{\alpha} + R \frac{l_e^2}{\lambda_e} \right) \quad (2)$$

gdzie: $\Delta i = i_p - i_e$ – różnica entalpii produktu w temperaturze odpowiednio początkowej (t_p) i końcowej (t_e), kJ/kg,

ρ_z – gęstość produktu w stanie zamrożenia, kg/m³,

$\Delta t = t_{kr} - t_m$ – różnica temperatury między temperaturą krioskopową produktu (t_{kr}) i temperaturą medium chłodzącego (t_m), °C,

α – współczynnik wnikania ciepła od powierzchni produktu do medium, W/(m²×K),

λ_e – przewodność cieplna właściwa produktu w stanie zamrożonym, W/(m×K),

P, R – współczynniki zależne od stosunku boków odpowiednio $a:l$ i $b:l$ (dla kostki jabłka $P = 0,1677$ i $R = 0,0417$ [6]).

3.2. Obliczanie entalpii produktu

Entalpię produktu w temperaturze początkowej (t_p) obliczano ze wzoru:

$$i_p = c_e [t_{kr} - (-40)] + q_z + c_o (t_p - t_{kr}) \quad (3)$$

Entalpię produktu w temperaturze końcowej ($t_e = -18^\circ\text{C}$) obliczano ze wzoru:

$$i_e = c_e [-18 - (-40)] \quad (4)$$

Entalpię produktu w temperaturze końcowej ($t_e = -30^\circ\text{C}$) obliczano ze wzoru:

$$i'_e = c_e [-30 - (-40)] \quad (5)$$

gdzie: c_o – ciepło właściwe produktu nie zamrożonego, kJ/(kg×K),

c_e – ciepło właściwe produktu zamrożonego, kJ/(kg×K),

q_z – jednostkowe ciepło zamarzania produktu, kJ/kg.

Jednostkowe ciepło zamarzania produktu (q_z) obliczano ze wzoru [8]:

$$q_z = q_{zw} \cdot x_w \quad (6)$$

gdzie: q_{zw} – jednostkowe ciepło zamarzania czystej wody, 335,2 kJ/kg,

x_w – ułamek masowy wody w produkcie, kg/kg.

3.3. Obliczanie gęstości produktu w stanie zamrożonym

Gęstość owoców w stanie zamrożonym obliczano ze wzoru [9]:

$$\rho_z = \rho_o \left[1 - x_w \left(1 - \frac{t_k}{t_e} \right) \cdot 0,083 \right] \quad (7)$$

gdzie: ρ_o – gęstość produktu w stanie nie zamrożonym, kg/m³.

3.4. Obliczanie średniej temperatury medium chłodzącego podczas zamrażania w ciekłym azocie i ditlenku węgla

Średnią temperaturę medium chłodzącego (t_{N_2} i t_{CO_2}) obliczono ze wzorów:

$$t_{N_2} = \frac{t_w + t_p}{2} \quad (8)$$

$$t_{CO_2} = \frac{t_s + t_{po}}{2} \quad (9)$$

gdzie: t_w – temperatura wrzenia ciekłego azotu, $-195,9^\circ\text{C}$ [1],

t_s – temperatura sublimacji zestalonego CO₂, $-78,5^\circ\text{C}$ [1],

t_{po} – temperatura par odlotowych obu czynników, przyjęto -20°C [1].

4. Zestawienie danych wyjściowych przyjętych do analizy czasu zamrażania

W tabelach 1 i 2 zestawiono dane wyjściowe owoców i metod zamrażania niezbędne do obliczenia czasu zamrażania.

OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

W tabeli 3 podano obliczone wartości czasu zamrażania dla poszczególnych owoców w zależności od zastosowanej metody zamrażania, a na rysunkach 1-4 przedstawiono ilustrację zmiany czasu zamrażania w zależności od metody zamrażania dla poszczególnych owoców.

Analizując poszczególne wartości czasu zamrażania należy stwierdzić, że bez względu na rodzaj owoców, najdłuższym czasem zamrażania charakteryzowała się metoda owiewowa tradycyjna, a najkrótszy czas zamrażania stwierdzono dla metody zamrażania w ciekłym azocie (LIN). Ogólnie bez względu na rodzaj owoców, czas zamrażania metodą owiewową tradycyjną był 8-9 razy dłuższy od czasu zamrażania metodą LIN.

Zastosowanie efektu fluidyzacji w metodzie zamrażania owiewowego spowodowało 5-6 krotne obniżenie czasu zamrażania owoców w odniesieniu do tradycyjnej metody zamrażania owiewowego. Decydującym czynnikiem, który wpłynął na skrócenie czasu zamrażania owoców metodą fluidyzacyjną była znacznie wyższa wartość współczynnika wnikania ciepła (α), wynikająca z wprowadzenia surowca w stan fluidalny. Dzięki temu uzyskano równomierne omywanie surowca strumieniem zimnego powietrza o prędkości wyższej niż w tradycyjnej metodzie owiewowej, poprawiając tym samym warunki wymiany ciepła i skracając czas zamrażania.

Tabela 1. Dane wyjściowe owoców do obliczania czasu zamrażania

Table 1. Output data of fruits to calculating freezing time

Owoce Dane	Agrest	Borówki	Jabłka	Jagody czarne	Maliny	Porzeczki czarne	Porzeczki czerwone	Śliwki	Truskawki	Wiśnie
Kształt surowca	kula	kula	kostka	kula	kula	kula	kula	kula	kula	kula
Wymiar [mm]	$d_p = 18^*$	$d_p = 10^{[11]}$	10x10x10	$d_p = 9^{[8]}$	$d_p = 20^{[8]}$	$d_p = 8^*$	$d_p = 10^*$	$d_p = 35^{[12]}$	$d_p = 24^{[12]}$	$d_p = 19^{[3]}$
x_w [kg/kg]	0,883 ^[7]	0,851 ^[7]	0,868 ^[5]	0,851 ^[5]	0,858 ^[5]	0,847 ^[7]	0,842 ^[5]	0,857 ^[1]	0,900 ^[1]	0,830 ^[7]
t_{kr} [°C]	-1,7 ^[8]	-1,5 ^[1]	-2,0 ^[8]	-1,9 ^[1]	-1,1 ^[1]	-1,0 ^[8]	-1,0 ^[8]	-2,2 ^[8]	-1,2 ^[8]	-3,3 ^[8]
ρ_o [kg/m ³]	1050 ^[11]	1000 ^[8]	990 ^[8]	1000 ^[8]	998 ^[8]	1000 ^[8]	1000 ^[8]	1030 ^[8]	950 ^[8]	1040 ^[8]
$\rho_{z(-18)}$ [kg/m ³]	980	935	929	939	934	934	934	966	884	981
$\rho_{z(-30)}$ [kg/m ³]	977	932	926	936	932	932	932	962	882	976
c_o [kJ/(kg×K)]	3,77 ^[8]	3,60 ^[8]	3,60 ^[8]	3,60 ^[8]	3,56 ^[8]	3,69 ^[8]	3,69 ^[8]	3,68 ^[8]	3,88 ^[8]	3,64 ^[8]
c_p [kJ/(kg×K)]	1,93 ^[8]	1,89 ^[8]	1,89 ^[8]	1,89 ^[8]	1,88 ^[8]	1,89 ^[8]	1,89 ^[8]	1,88 ^[8]	2,01 ^[8]	1,89 ^[8]
λ_p [W/(m×K)]	1,88 ^[8]	1,86 ^[8]	1,79 ^[8]	1,76 ^[8]	1,82 ^[8]	1,86 ^[8]	1,86 ^[8]	1,80 ^[8]	1,95 ^[8]	1,67 ^[8]
q_z [kJ/kg]	293,6 ^[8]	285,3	282,0 ^[8]	275,0 ^[8]	283,8 ^[8]	279,6 ^[8]	279,6 ^[8]	286,1 ^[8]	289,6 ^[8]	279,6 ^[8]
i_p [kJ/kg]	430,5	417,5	415,0	407,8	414,2	412,4	412,4	420,5	430,4	415,6
i_p kJ/kg	42,5	41,6	41,6	41,6	41,4	41,6	41,6	41,4	44,2	41,6
i_p' [kJ/kg]	19,3	18,9	18,9	18,9	18,8	18,9	18,9	18,8	20,1	18,9

Źródło: Indeks górny ^[n] oznacza pozycję literaturową, indeks górny * oznacza wartość założoną, brak indeksu – wartości obliczone własne

Tabela 2. Dane wyjściowe metod zamrażania do obliczania czasu zamrażania

Table 2. Output data of freezing method to calculating freezing time

Dane Owoce	Średnia temperatura medium chłodzącego, °C				Współczynnik wnikania ciepła, W/(m ² ·K)			
	Metoda owiewowa tradycyjna	Metoda owiewowa fluidyzacyjna	Metoda LIN	Metoda LIC	Metoda owiewowa tradycyjna	Metoda owiewowa fluidyzacyjna	Metoda LIN	Metoda LIC
Agrest	-36 ^[1]	-37 ^[1]	-108	-49,3	17,5 ^[1]	104,5 ^[2]	54,5 ^[1]	28 ^[1]
Borówki	-36 ^[1]	-37 ^[1]	-108	-49,3	17,5 ^[1]	95 ^[2]	54,5 ^[1]	28 ^[1]
Jabłka	-36 ^[1]	-37 ^[1]	-108	-49,3	17,5 ^[1]	155 ^[2]	54,5 ^[1]	28 ^[1]
Jagody czarne	-36 ^[1]	-37 ^[1]	-108	-49,3	17,5 ^[1]	95 ^[2]	54,5 ^[1]	28 ^[1]
Maliny	-36 ^[1]	-37 ^[1]	-108	-49,3	17,5 ^[1]	104,5 ^[2]	54,5 ^[1]	28 ^[1]
Porzeczki czarne	-36 ^[1]	-37 ^[1]	-108	-49,3	17,5 ^[1]	95 ^[2]	54,5 ^[1]	28 ^[1]
Porzeczki czerwone	-36 ^[1]	-37 ^[1]	-108	-49,3	17,5 ^[1]	95 ^[2]	54,5 ^[1]	28 ^[1]
Śliwki	-36 ^[1]	-37 ^[1]	-108	-49,3	17,5 ^[1]	135 ^[2]	54,5 ^[1]	28 ^[1]
Truskawki	-36 ^[1]	-37 ^[1]	-108	-49,3	17,5 ^[1]	149 ^[2]	54,5 ^[1]	28 ^[1]
Wiśnie	-36 ^[1]	-37 ^[1]	-108	-49,3	17,5 ^[1]	104,5 ^[2]	54,5 ^[1]	28 ^[1]

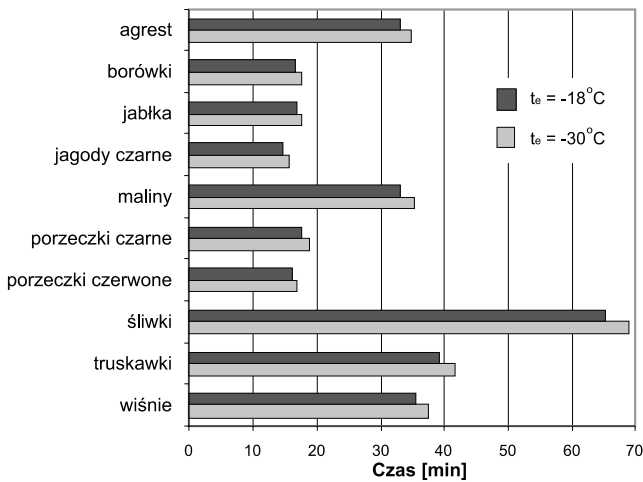
Źródło: Indeksy górne oznaczają pozycje literaturowe, brak indeksu – wartości obliczone własne

Tabela 3. Obliczony czas zamrażania dla wybranych owoców

Table 3. The calculated freezing time for selected fruits

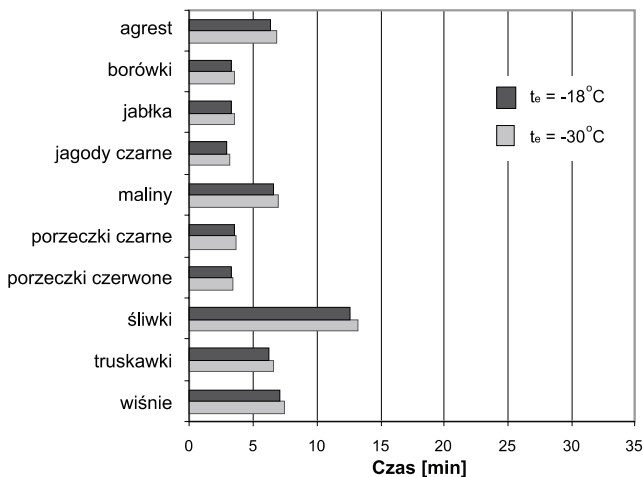
Owoce	Czas zamrażania owoców [min] do średniej temperatury końcowej (t_p) -18°C i -30°C							
	Zamrażanie owiewowe tradycyjne		Zamrażanie owiewowe fluidyzacyjne		Zamrażanie LIN		Zamrażanie LIC	
	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C
Agrest	33,0	34,9	6,4	6,8	3,7	3,9	15,2	16,1
Borówki	16,6	17,5	3,3	3,5	1,8	1,9	7,6	8,0
Jabłka	16,7	17,6	3,3	3,5	1,8	1,9	7,6	8,0
Jagody czarne	14,7	15,6	2,9	3,1	1,6	1,7	6,7	7,1
Maliny	33,1	35,1	6,6	7,0	3,8	4,0	15,4	16,3
Porzeczki czarne	17,7	18,8	3,5	3,7	2,0	2,1	8,1	8,6
Porzeczki czerwone	16,1	17,0	3,2	3,4	1,8	1,9	7,4	7,8
Śliwki	65,3	68,9	12,6	13,2	7,8	8,2	30,7	32,4
Truskawki	39,3	41,7	6,2	6,6	4,6	4,8	18,3	19,4
Wiśnie	35,5	37,5	7,1	7,5	3,9	4,1	16,2	17,1

Źródło: Badania własne



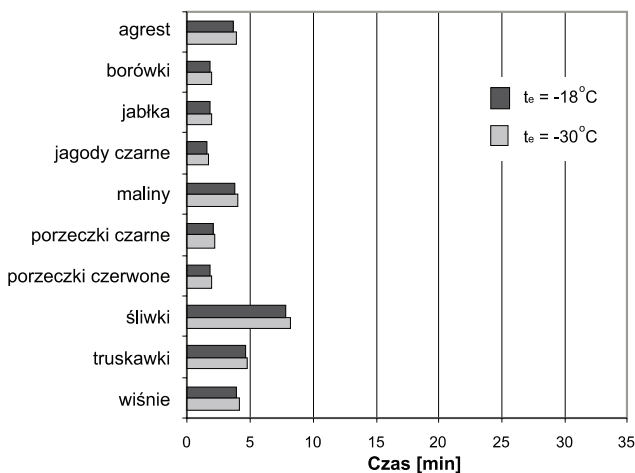
Rys. 1. Czas zamrażania owoców metodą owiewową tradycyjną.
Fig. 1. Freezing time of fruits by traditional air blast freezing method.

Źródło: Badania własne



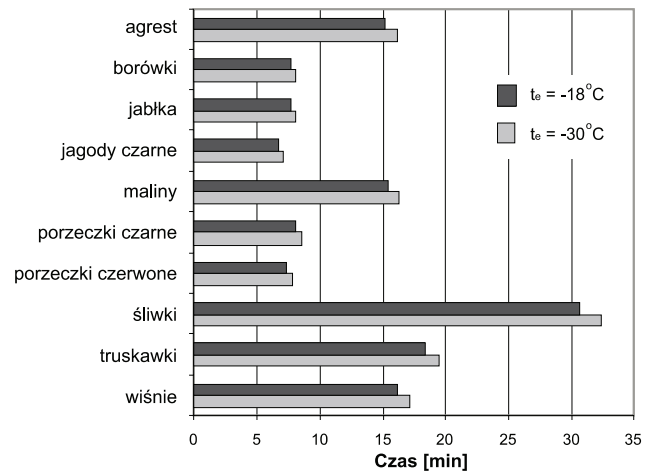
Rys. 2. Czas zamrażania owoców metodą owiewową fluidyzacyjną.
Fig. 2. Freezing time of fruits by fluidized bed freezing method.

Źródło: Badania własne



Rys. 3. Czas zamrażania owoców metodą LIN.
Fig. 3. Freezing time of fruits by LIN method.

Źródło: Badania własne

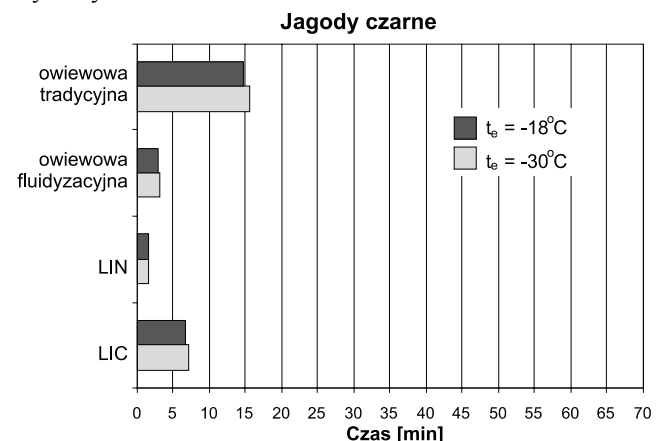


Rys. 4. Czas zamrażania owoców metodą LIC.
Fig. 4. Freezing time of fruits by LIC method.

Źródło: Badania własne

Stosując metody kriogeniczne do zamrażania owoców, stwierdzono, że czas zamrażania metodą w ciekłym ditlenku węgla (LIC) był ok. 4 razy dłuższy od czasu zamrażania w ciekłym azocie, bez względu na rodzaj zamrażanych owoców. Na znacznie krótszy czas zamrażania owoców metodą w ciekłym azocie miały wpływ dwa czynniki, wartość współczynnika wnikania ciepła (prawie dwukrotnie większa) oraz wartość średniej temperatury medium chłodzącego (ponad dwukrotnie wyższa w metodzie LIN).

Obniżając średnią temperaturę końcową (t_e) owoców z -18 do -30°C otrzymano nieznacznie dłuższy czas zamrażania dla każdego owocu. Średnio długość czasu zamrażania zwiększyła się o ok. 6%. Tłumaczy to fakt, iż obniżenie temperatury końcowej wiązało się z obniżeniem wartości entalpii dla temperatury końcowej, a to spowodowało, że różnica entalpii w temperaturze początkowej i końcowej zamrażanych owoców nieco się zwiększyła, co z kolei nieznacznie wydłużyło czas zamrażania.

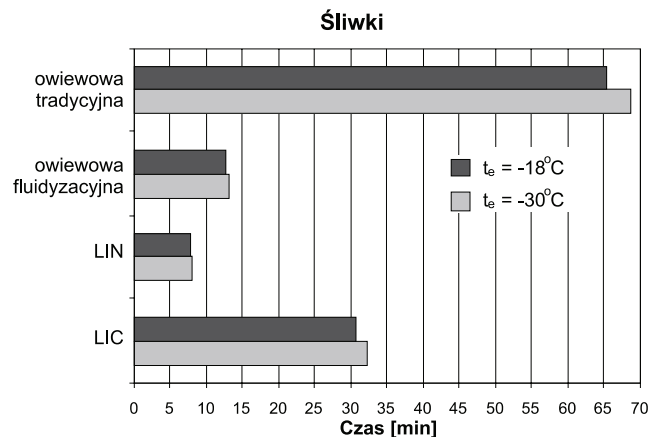


Rys. 5. Czas zamrażania jagód czarnych wybranymi metodami.
Fig. 5. Freezing time of blueberries by selected methods.

Źródło: Badania własne

Analiza czasu zamrażania poszczególnych owoców w zależności od zastosowanej metody zamrażania wykazała podobną tendencję jego zmiany. Na rysunkach 5 i 6

przykładowo zilustrowano zmianę czasu zamrażania jagód czarnych i śliwek w zależności od zastosowanej metody zamrażania. Ogólnie, dla każdego owocu najkrótszy obliczony czas zamrażania otrzymano przy zamrażaniu LIN, nieco dłuższy przy zamrażaniu owiewowym fluidyzacyjnym, następnie przy zamrażaniu LIC, zaś najdłuższy czas zamrażania stwierdzono dla tradycyjnej metody owiewowej (tab. 3).



Rys. 6. Czas zamrażania śliwek wybranymi metodami.

Fig. 6. Freezing time of plums by selected methods.

Źródło: Badania własne

Bez względu na zastosowaną metodę zamrażania, najkrótszym czasem zamrażania charakteryzowały się jagody czarne (tab.3, rys. 5). W metodzie zamrażania owiewowego tradycyjnego wyniósł on 14,7 minuty ($t_e = -18^\circ\text{C}$) i 15,6 minuty ($t_e = -30^\circ\text{C}$) i był ok. 5 razy dłuższy niż w metodzie owiewowej fluidyzacyjnej, ponad 9 razy dłuższy niż w metodzie LIN i ponad 2 razy dłuższy niż w metodzie LIC. Z kolei, najdłuższym czasem zamrażania charakteryzowały się śliwki (tab. 3, rys. 6). W metodzie zamrażania owiewowego tradycyjnego wyniósł on 65,3 minuty ($t_e = -18^\circ\text{C}$) i 68,9 minuty ($t_e = -30^\circ\text{C}$) i był ponad 5 razy dłuższy niż w metodzie owiewowej fluidyzacyjnej, ponad 8 razy dłuższy niż w metodzie LIN i ponad 2 razy dłuższy niż w metodzie LIC. Czas zamrażania śliwek przy zastosowaniu każdej z metod był ok. 4,5 razy dłuższy niż w przypadku jagody czarnej. Największy wpływ na wartość czasu zamrażania miała średnica zamrażanego surowca (średnica jagody czarnej była 3,9 razy mniejsza od średnicy śliwki).

Wartości czasu zamrażania borówek, jagód czarnych, porzeczek czarnej i czerwonej oraz kostek jabłka (tab. 3) były zbliżone do siebie w każdej z metod zamrażania. Podobnie zbliżone wartości czasu zamrażania stwierdzono dla malin, truskawek, wiśni i agrestu (tab. 3). Tym niemniej, czas zamrażania drugiej grupy owoców był ok. 2 razy dłuższy niż owoców grupy pierwszej. Różnica ta wynikała głównie z blisko dwukrotnie większej średnicy owoców drugiej grupy. Tym samym, rodzaj owocu oraz jego właściwości fizyczne nie miały tak istotnego wpływu na czas zamrażania, jaki miał wymiar charakterystyczny owocu.

Na podstawie analizy obliczonego czasu zamrażania dla wybranych owoców należy stwierdzić, że najkorzystniejszymi metodami zamrażania owoców są metody owiewowa fluidyzacyjna oraz metoda LIN. Przy wyborze optymalnej metody zamrażania owoców należy również, oprócz czasu zamrażania, uwzględnić inne czynniki, takie jak: optymalne

dostosowanie metody zamrażania do danego surowca lub grupy surowców, możliwość włączenia urządzenia w linię produkcyjną, elastyczność zamrażarki, możliwość dostosowania jej pracy do wahań wydajności linii, zapotrzebowanie robocizny i wymagania dotyczące kwalifikacji obsługi, wskaźniki techniczne zamrażarki, możliwość zainstalowania zamrażarki w warunkach lokalowych zakładu, koszty inwestycyjne i ruchowe zamrażarki, przewidywana wielkość produkcji godzinowej, dobowej i roboczej zamrażarki, wymagana forma zamrożonego produktu, cena najważniejszego produktu lub grupy produktów, oczekiwany procent strat, wymagania dotyczące jakości surowca lub, inaczej mówiąc, zdolność zamrażania surowca o obniżonej jakości oraz przepisy sanitarne obowiązujące w kraju [1].

WNIOSKI

1. Najkrótszym czasem zamrażania charakteryzowała się metoda LIN, zaś najdłuższym metoda owiewowa tradycyjna, bez względu na rodzaj zamrażanych owoców.
2. Wprowadzenie owoców zamrażanych luzem w stan fluidalny podczas procesu zamrażania poprawiło warunki wymiany ciepła, zwiększając wartość współczynnika wnikania ciepła, a tym samym skracając 5-6 razy czas zamrażania w odniesieniu do metody owiewowej tradycyjnej.
3. Niezależnie od zastosowanej metody zamrażania najkrótszy czas zamrażania otrzymano dla jagód czarnych, a najdłuższy dla śliwek.
4. Borówki, jagody czarne, porzeczki czarne i czerwone oraz kostki jabłek uzyskały zbliżony czas zamrażania, który był ok. 2 razy dłuższy od czasu zamrażania agrestu, malin, truskawek i wiśni.
5. Obniżenie temperatury końcowej poszczególnych owoców z -18 do -30°C , spowodowało wydłużenie czasu ich zamrażania o ok. 6%, bez względu na rodzaj metody zamrażania.
6. Przedstawiona analiza czasu zamrażania wybranych owoców przyczyni się do bardziej racjonalnego podejmowania decyzji przy wyborze najkorzystniejszej metody zamrażania.

LITERATURA

- [1] GRUDA Z., POSTOLSKI J. 1999. Zamrażanie żywności. Wyd. 3. WNT, Warszawa.
- [2] GRUDA Z., POSTOLSKI J. 1985. Zamrażanie żywności. Wyd. 2. WNT, Warszawa.
- [3] KALISZ S., OBIEDZIŃSKI M. 2010. Wpływ temperatury na efektywność procesu drylowania w produkcji wiśni mrożonej. Nauka. Przyroda. Technologie, 4(2), 1-11.
- [4] KLUZA F., GÓRAL D. 1993. Statystyczna charakterystyka oddziaływania podstawowych parametrów zamrażania produktów spożywczych na efektywny czas trwania procesu. Chłodnictwo, 28(1), 27-28.
- [5] KUNACHOWICZ H., NADOLNA I., PRZYGODA B., IWANOW K. 2005. Tabele składu i wartości odżywczej żywności. PZWL, Warszawa.

- [6] **PAŁACHA Z. 2014.** Zamrażanie żywności. W: Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. Wyd. 4. (red. P.P. Lewicki), WNT, Warszawa, 320-345.
- [7] **PAŁACHA Z. 2010.** Właściwości cieplne. W: Właściwości fizyczne żywności (red. Z. Pałacha, I. Sitkiewicz), WNT Warszawa, 81-112.
- [8] **PAŁACHA Z., JANISZEWSKA E. 2012.** Zamrażanie żywności. W: Wybrane zagadnienia obliczeniowe inżynierii żywności (red. D. Witrowa-Rajchert, P.P. Lewicki), Wyd. SGGW, Warszawa, 252-281.
- [9] **PAŁACHA Z., RACZYŃSKI W. 2005.** *Opracowanie metody oznaczania gęstości wybranych owoców w stanie zamrożonym.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 16/27(2), 55-59.
- [10] **POSTOLSKI J. 2007.** *Prawie wszystko o...technologii chłodniczej żywności (cz. 24).* Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna, 1, 11-16.
- [11] **PRACA ZBIOROWA 2008.** Surowce spożywcze pochodzenia roślinnego (red. K. Świetlikowska), Wyd. SGGW, Warszawa.
- [12] **PRACA ZBIOROWA 1994.** Pomologia (red. A. Rejman), PWRiL, Warszawa.