

Dr hab. inż. Zbigniew PAŁACHA, prof. SGGW
Inż. Aleksander GÓRSKI
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, SGGW w Warszawie

WPŁYW RODZAJU OPAKOWANIA ORAZ GRUBOŚCI WARSTWY POWIETRZA NA CZAS ZAMRAŻANIA WYBRANYCH PRODUKTÓW POCHODZENIA ZWIERZĘCEGO®

Impact of type packaging and thickness layer air on the freezing time of selected animal products®

Słowa kluczowe: produkty pochodzenia zwierzęcego, czas zamrażania, opakowanie, warstwa powietrza.

W pracy prezentowanej w artykule przeprowadzono analizę wpływu rodzaju opakowania oraz grubości warstwy powietrza na czas zamrażania 4 produktów pochodzenia zwierzęcego (wieprzowina i wołowina chuda, filety z indyka i dorsza). Obliczono i porównano czas zamrażania produktów, w zależności od zastosowania 8 różnych opakowań, 3 warstw powietrza o grubości 0,3, 0,6 i 0,9 mm oraz temperatury końcowej produktów -18 i -30°C. Rodzaj zastosowanego opakowania oraz obecność warstwy powietrza miały istotny wpływ na wydłużenie czasu zamrażania w odniesieniu do produktów nie opakowanych.

Key words: animal products, freezing time, packaging, layer air.

In the work presented in the article an analysis of the impact of the type of packaging and the thickness of the layer of air at the freezing time 4 animal products (lean pork and beef, turkey fillets and cod). Calculated and compared the freezing time of products, depending on the application 8 different packages, 3 of air layer having a thickness of 0.3, 0.6 and 0.9 mm and a final temperature of the products (-18 and -30°C). The type of packaging and the presence of the air layer had a significant impact on the prolonged freezing time for product not packaged.

WSTĘP

W procesie zamrażania żywności dąży się do maksymalnego skrócenia czasu zamrażania. Poza względami technologicznymi, chodzi tu o osiągnięcie jak najlepszych wskaźników wydajności produkcyjnej zamrażarek [3].

Na czas zamrażania żywności ma wpływ wiele czynników. Wśród nich występują czynniki zależne od rodzaju i właściwości fizycznych zamrażanego surowca, takie jak: wielkość, kształt, gęstość, przewodność cieplna właściwa i entalpia właściwa oraz czynniki zależne od warunków, w jakich prowadzony jest proces, takie jak: czynna różnica temperatury, współczynnik wnikania ciepła między materiałem a medium chłodzącym i obecność opakowania [3, 13]. Wykazano, że parametrem mającym największy wpływ na czas zamrażania jest wymiar charakterystyczny materiału. Nieco mniejszy wpływ odgrywiają kształt surowca, współczynnik wnikania ciepła, temperatura medium chłodzącego i rodzaj surowca. Natomiast najmniejszy wpływ wykazały temperatura początkowa oraz temperatura końcowa materiału w jego centrum termicznym [5, 6, 7, 8, 9].

Obecność opakowania utrudnia warunki przepływu ciepła od powierzchni produktu do medium chłodzącego [1, 2, 3, 10]. Opakowanie, zwłaszcza wielowarstwowe, znacznie wydłuża czas zamrażania, przy czym największy opór

cieplny wynika nie z grubości opakowania i jego przewodności cieplnej właściwej (λ_{op}), lecz z warstwy powietrza zawartej między produktem a opakowaniem lub między jego poszczególnymi warstwami. Powietrze jest bardzo słabym przewodnikiem ciepła ze względu na małą wartość przewodności cieplnej właściwej ($\lambda = 0,0259 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) w temperaturze 20°C [4]. W dostępnej literaturze jest bardzo niewiele informacji na temat wpływu rodzaju opakowania i obecności warstwy powietrza na czas zamrażania żywności. Poniższy materiał stanowi uzupełnienie wiedzy na ten temat.

Celem artykułu jest analiza wpływu rodzaju opakowania oraz grubości warstwy powietrza na czas zamrażania czterech wybranych produktów pochodzenia zwierzęcego. Zakres pracy obejmował obliczenie i porównanie czasu zamrażania produktów zamrażanych w ośmiu różnych rodzajach opakowań, bez i z warstwą powietrza, w zależności od temperatury końcowej produktu.

METODYKA BADAŃ

1. Materiał badawczy

Materiałem badawczym wybranym do analizy czasu zamrażania były cztery produkty pochodzenia zwierzęcego: wołowina i wieprzowina chuda, filety z indyka i dorsza

posiadające kształt prostopadłościanu o wymiarach 200x150x33 mm. Produkty zamrażano bez opakowania oraz w ośmiu rodzajach opakowań: folii aluminiowej, folii PE, folii celofanowej, folii PCV, pergaminie podwójnie woskowanym, kartonie wyłożonym folią aluminiową, kartonie parafinowanym oraz kartonie parafinowanym owiniętym w celofan czterowarstwowy.

2. Założenia wstępne

Założono, że temperatura początkowa (t_p) wszystkich produktów przed procesem zamrażania wynosiła 3°C. Produkty zamrażano metodą owiewową tradycyjną do średniej temperatury końcowej (t_e) -18 i -30°C. Średnia temperatura powietrza mrozącego (t_m) wynosiła -38°C, a średnia wartość współczynnika wnikania ciepła (α) wynosiła 30 W/(m²·K). Entalpia produktów w temperaturze -40°C wynosiła 0 kJ/kg [1]. Przyjęto grubość warstwy powietrza 0,3, 0,6 i 0,9 mm, o przewodności cieplnej właściwej w zakresie temperatury 3 – (-18)°C i 3 – (-30)°C wynoszącej odpowiednio 0,023785 i 0,023305 W/(m·K) [4].

3. Metody obliczeniowe

3.1. Obliczanie czasu zamrażania

Czas zamrażaniu produktów w kształcie prostopadłościanu o wymiarach $a = 200$ mm, $b = 150$ mm, $l_e = 33$ mm obliczano z równania [11]:

$$\tau_e = \frac{\Delta i \cdot \rho_z}{\Delta t} \left(P \frac{l_e}{\alpha} + R \frac{l_e^2}{\lambda_e} \right) \quad (1)$$

Czas zamrażaniu produktów w kształcie prostopadłościanu w opakowaniu bez warstwy powietrza obliczano z równania [11]:

$$\tau_e = \frac{\Delta i \cdot \rho_z}{\Delta t} \left[P_e \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda p} \right) + R \frac{l_e^2}{\lambda_e} \right] \quad (2)$$

Czas zamrażaniu produktów w kształcie prostopadłościanu w opakowaniu z warstwą powietrza obliczano z równania [11]:

$$\tau_e = \frac{\Delta i \cdot \rho_z}{\Delta t} \left[P_e \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda p} + \frac{\delta}{\lambda p} \right) + R \frac{l_e^2}{\lambda_e} \right] \quad (3)$$

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 $a:l_e=6$ i $b:l_e=4,5$ wynoszące $P = 0,3602$ i $R = 0,099$ [11],

$\frac{\delta}{\lambda} op$ – opór cieplny opakowania (m²·K)/W [11],

$\frac{\delta}{\lambda} p$ – opór cieplny warstwy powietrza (m²·K)/W [11],

3.2. Obliczanie entalpii produktu

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

$$i_p = c_e [t_{kr} - (-40)] + q_z + c_0 (t_p - t_{kr}) \quad (4)$$

Entalpię produktu w temperaturze końcowej ($t_e = -18$ °C) obliczano ze wzoru:

$$i_e = c_e [-18 - (-40)] \quad (5)$$

Entalpię produktu w temperaturze końcowej ($t_e = -30$ °C) obliczano ze wzoru:

$$i'_e = c_e [-30 - (-40)] \quad (6)$$

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

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

q_z – jednostkowe ciepło zamrażania produktu, kJ/kg.

3.3. Obliczanie gęstości produktu w stanie zamrożonym

Gęstość owoców w stanie zamrożonym obliczano ze wzoru [12]:

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

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

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

4. Zestawienie danych wyjściowych przyjętych do analizy czasu zamrażania

W tabelach 1 i 2 zestawiono dane wyjściowe produktów i wartości oporu cieplnego opakowań oraz warstwy powietrza niezbędne do obliczenia czasu zamrażania.

Tabela 1. Dane wyjściowe produktów do obliczania czasu zamrażania

Table 1. Output data of products to calculating freezing time

Material	Wołowina chuda	Wieprzowina chuda	Filet z indyka	Filet z dorsza
Dane				
x_w [kg/kg]	0,72 ^[11]	0,74 ^[11]	0,75 ^[11]	0,80 ^[11]
t_{kr} [°C]	-2,0 ^[6]	-2,2 ^[6]	-2,5 ^[6]	-2,2 ^[6]
ρ_o [kg/m ³]	1067 ^[10]	1103 ^[10]	1079 ^[10]	1000 ^[11]
$\rho_{z(-18)}$ [kg/m ³]	1010	1044	1021	942
$\rho_{z(-30)}$ [kg/m ³]	1007	1040	1017	939
c_o [kJ/(kg·K)]	3,25 ^[11]	2,85 ^[11]	3,31 ^[11]	3,77 ^[11]
c_e [kJ/(kg·K)]	1,76 ^[11]	1,34 ^[11]	1,87 ^[11]	2,05 ^[11]
λ_e [W/(m·K)]	1,57 ^[11]	1,56 ^[11]	1,62 ^[11]	1,70 ^[11]
q_z [kJ/kg]	241,3 ^[11]	201,0 ^[11]	246,6 ^[11]	259,8 ^[11]
i_p [kJ/kg]	324,4	266,5	305,9	356,9
i_e [kJ/kg]	38,7	29,5	41,1	45,1
i'_e [kJ/kg]	17,6	13,4	18,7	20,5

Źródło: Indeks górny ^[n] oznacza pozycję literaturową, brak indeksu – wartości obliczone

Source: Superscript ^[n] means references, the lack of an index – calculated values

Tabela 2. Opór cieplny opakowań oraz warstwy powietrza [3]

Table 2. The thermal resistance packaging and air layer [3]

Rodzaj opakowania	Grubość, δ [mm]	Opór cieplny, $\frac{\delta}{\lambda} op$ [(m ² ·K)·W ⁻¹]
Folia aluminiowa (A)	0,1	0,0000005
Folia PE (B)	0,04	0,000138
Folia celofanowa (C)	0,146	0,00224
Folia PCV (D)	0,25	0,0025
Pergamin podwójnie woskowany (E)	0,212	0,003
Karton wyłożony folią aluminiową (F)	0,568	0,0069
Karton parafinowany (G)	0,625	0,00826
Karton parafinowany owinięty w celofan czterowarstwowy (H)	0,757	0,0094
Warstwa powietrza	0,3	0,0126 ¹ 0,0129 ²
	0,6	0,0252 ¹ 0,0257 ²
	0,9	0,0378 ¹ 0,0386 ²

Źródło: Indeks 1 – średnia wartość oporu cieplnego warstwy powietrza w zakresie temperatury +3 – (-18)°C; Indeks 2 – średnia wartość oporu cieplnego warstwy powietrza w zakresie temperatury +3 – (-30)°C

Source: Superscript 1 – average value of the thermal resistance of the air layer in the temperature range of +3 – (-18)°C; Superscript 2 - average value of the thermal resistance of the air layer in the temperature range of +3 – (-30)°C

OMÓWIENIE I Dyskusja Wyników

W tabelach 3 - 6 podano obliczone wartości czasu zamrażania dla poszczególnych produktów pochodzenia zwierzęcego w zależności od użytego opakowania, występowania bądź braku warstwy powietrza, a na rysunkach 1 - 4 przykładowo zilustrowano zmiany czasu zamrażania w zależności od użytego opakowania, występowania bądź braku warstwy powietrza dla wieprzowiny chudej i filetów z dorsza.

Analiza wartości czasu zamrażania produktów pochodzenia zwierzęcego nie opakowanych wykazała, że najkrótszym czasem zamrażania charakteryzowała się wieprzowina chuda, a najdłuższy czas zamrażania stwierdzono dla filetów z dorsza (tabele 3-6). Zamrażając produkty do średniej temperatury końcowej (t_e) -18°C stwierdzono, że czas zamrażania filetów z dorsza był dłuższy o 17,2%, wołowiny chudej o 15,9%, a filetów z indyka o 9,5% od czasu zamrażania wieprzowiny chudej ($\tau_e = 53,6$ min). Podobną tendencję stwierdzono podczas zamrażania produktów do średniej końcowej temperatury -30°C. Przy czym, czas zamrażania filetów z dorsza był dłuższy o 18,6%, wołowiny chudej o 16,7% i filetów z indyka o 11,4% od czasu zamrażania wieprzowiny chudej ($\tau_e = 57,0$ min). Nieznaczne różnice w czasie zamrażania badanych produktów wynikały głównie ze zróżnicowanych właściwości fizycznych tych materiałów (entalpii właściwej, temperatury krioskopowej, przewodności cieplnej właściwej, gęstości).

Tabela 3. Obliczony czas zamrażania wołowiny chudej w zależności od użytego opakowania, występowania bądź braku warstwy powietrza

Table 3. The calculated freezing time lean beef, depending on the packaging used, the presence or absence of air layer

Rodzaj opakowania	Czas zamrażania wołowiny chudej [min] do średniej temperatury końcowej (t_e) -18°C i -30°C							
	Bez warstwy powietrza		Z warstwą powietrza o grubości					
	-18°C	-30°C	0,3 mm		0,6 mm		0,9 mm	
	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C
Brak	62,1	66,5	-	-	-	-	-	-
A	62,1	66,5	82,0	88,4	102,1	110,2	122,1	132,1
B	62,3	66,7	82,3	88,7	102,3	110,4	122,3	132,4
C	65,7	70,3	85,7	92,3	105,7	114,0	125,7	135,9
D	66,1	70,7	86,1	92,7	106,1	114,4	126,1	136,4
E	66,9	71,6	86,9	93,5	106,9	115,3	126,9	137,2
F	73,1	78,2	93,1	100,2	113,1	121,9	133,1	143,8
G	75,2	80,5	95,2	102,5	115,2	124,2	135,2	146,2
H	77,0	82,5	97,0	104,4	117,0	126,2	137,1	148,1

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Tabela 4. Obliczony czas zamrażania wieprzowiny chudej w zależności od użytego opakowania, występowania bądź braku warstwy powietrza

Table 4. The calculated freezing time lean pork, depending on the packaging used, the presence or absence of air layer

Rodzaj opakowania	Czas zamrażania wieprzowiny chudej [min] do średniej temperatury końcowej (t_e) -18°C i -30°C							
	Bez warstwy powietrza		Z warstwą powietrza o grubości					
	-18°C	-30°C	0,3 mm		0,6 mm		0,9 mm	
	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C
Brak	53,6	57,0	-	-	-	-	-	-
A	53,6	57,0	70,8	75,8	88,1	94,5	105,4	113,2
B	53,8	57,2	71,0	76,0	88,3	94,7	105,5	113,4
C	56,7	60,3	73,9	79,1	91,2	97,7	108,4	116,5
D	57,0	60,7	74,3	79,5	91,5	98,1	108,8	116,9
E	57,7	61,4	75,0	80,2	92,2	98,8	109,5	117,6
F	63,0	67,1	80,3	85,9	97,6	104,5	114,8	123,3
G	64,9	69,0	82,2	87,8	99,4	106,5	116,7	125,3
H	66,5	70,7	83,7	89,5	101,0	108,2	118,2	126,9

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Tabela 5. Obliczony czas zamrażania fileatów z indyka w zależności od użytego opakowania, występowania bądź braku warstwy powietrza

Table 5. The calculated freezing time turkey filets, depending on the packaging used, the presence or absence of air layer

Rodzaj opakowania	Czas zamrażania fileatów z indyka [min] do średniej temperatury końcowej (t_e) -18°C i -30°C							
	Bez warstwy powietrza		Z warstwą powietrza o grubości					
			0,3 mm		0,6 mm		0,9 mm	
	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C
Brak	58,7	63,5	-	-	-	-	-	-
A	58,7	63,5	77,8	84,5	96,8	105,4	115,8	126,4
B	58,9	63,7	78,0	84,7	97,0	105,6	116,0	126,6
C	62,1	67,1	81,1	88,1	100,1	109,0	119,2	130,0
D	62,5	67,5	81,5	88,6	100,5	109,4	119,5	130,4
E	63,3	68,3	82,3	89,4	101,3	110,2	120,3	131,3
F	69,1	74,7	88,2	95,7	107,2	116,6	126,2	137,6
G	71,2	76,9	90,2	97,9	109,2	118,8	128,2	139,8
H	72,9	78,8	91,9	99,8	110,9	120,7	130,0	141,7

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Tabela 6. Obliczony czas zamrażania fileatów z dorsza w zależności od użytego opakowania, występowania bądź braku warstwy powietrza

Table 6. The calculated freezing time filets of cod, depending on the packaging used, the presence or absence of air layer

Rodzaj opakowania	Czas zamrażania fileatów z dorsza [min] do średniej temperatury końcowej (t_e) -18°C i -30°C							
	Bez warstwy powietrza		Z warstwą powietrza o grubości					
			0,3 mm		0,6 mm		0,9 mm	
	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C	-18°C	-30°C
Brak	62,8	67,6	-	-	-	-	-	-
A	62,8	67,6	83,3	90,1	103,8	112,5	124,3	135,1
B	63,1	67,8	83,6	90,4	104,0	112,8	124,5	135,3
C	66,5	71,5	87,0	94,1	107,4	116,4	127,9	139,0
D	66,9	72,0	87,4	94,5	107,9	116,9	128,4	139,4
E	67,7	72,8	88,2	95,4	108,7	117,8	129,2	140,3
F	74,1	79,6	94,5	102,2	115,0	124,6	135,5	147,1
G	76,3	82,0	96,8	104,6	117,2	127,0	137,7	149,5
H	78,1	84,0	98,6	106,6	119,1	128,9	139,6	151,5

Źródło: Badania własne

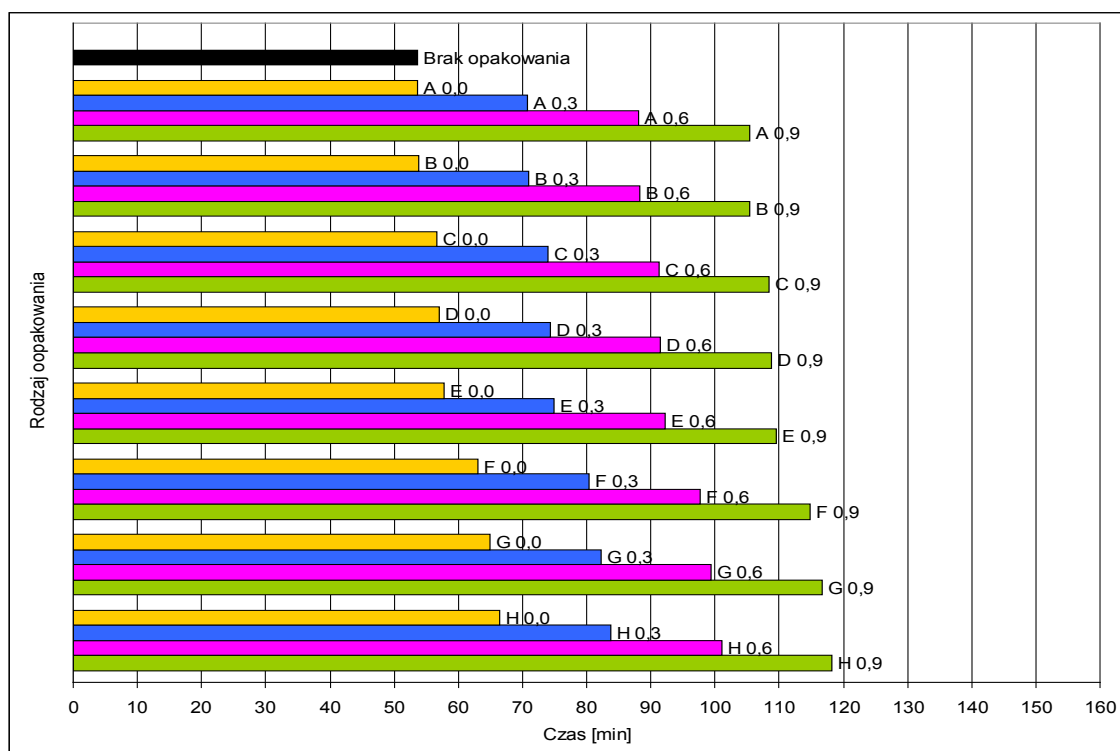
Source: The own study

Obniżając średnią temperaturę końcową (t_e) produktów z -18 do -30°C otrzymano nieznacznie dłuższy czas zamrażania dla każdego produktu. Średnio długość czasu zamrażania zwiększyła się od 6 do 8%. Tłumaczy to fakt, że obniżenie temperatury końcowej wiązało się z obniżeniem wartości entalpii właściwej dla temperatury końcowej, a to spowodowało, że różnica entalpii w temperaturze początkowej i końcowej zamrażanych produktów nieco się zwiększyła, co z kolei nieznacznie wydłużyło czas zamrażania. Podobną tendencję wydłużenia czasu zamrażania w wyniku obniżenia średniej temperatury końcowej z -18 do -30°C, odnotowano dla owoców i warzyw [8, 9].

Rodzaj opakowania wykorzystanego do pakowania produktów pochodzenia zwierzęcego miał zróżnicowany wpływ na wzrost czasu zamrażania (tab. 3-6; rys. 1-4). Decydujący wpływ na wydłużenie czasu zamrażania miała wartość oporu cieplnego opakowania. Najmniejszym oporem cieplnym charakteryzowała się folia aluminiowa (A) (0,0000005 ($m^2 \cdot K$)/W), a największy opór cieplny, 18880 razy większy od folii aluminiowej, posiadał karton parafinowany owinięty w celofan czterowarstwowy (H) (0,0094 ($m^2 \cdot K$)/W) (tab. 2). Obecność folii aluminiowej jako opakowania nie miała praktycznie żadnego wpływu na wydłużenie czasu zamrażania dla wszystkich badanych produktów (tab. 3-6). Natomiast pozostałe opakowania wpłynęły na wydłużenie czasu zamrażania, przy czym bez względu na rodzaj produktu i średnią końcową temperaturę produktu -18 i -30°C, wzrost ten był porównywalny i wynikał z wartości oporu cieplnego zastosowanego opakowania. Zastosowanie folii PE (B) wydłużyło czas zamrażania średnio o 0,3% w stosunku do materiałów nie opakowanych, folii celofanowej (C) o 5,8%, folii PCV (D) o 6,4%, pergaminu podwójnie woskowanego (E) o 7,7%, kartonu wyłożonego folią aluminiową (F) o 17,7%, kartonu parafinowanego (G) o 21,2% i kartonu parafinowego owiniętego w celofan czterowarstwowy (H) o 24,2%.

Obecność warstwy powietrza między powierzchnią produktu a wewnętrzną powierzchnią opakowania wydłużyła czas zamrażania, przy czym im grubość warstwy powietrza była większa tym czas zamrażania był dłuższy. Zamrażanie wołowiny chudej w opakowaniu z warstwą powietrza o różnej grubości do średniej temperatury końcowej -18°C spowodowało, że bez względu na rodzaj opakowania, czas zamrażania wydłużał się proporcjonalnie o kolejne 20 minut, kiedy grubość warstwy powietrza wzrastała z 0,0 do 0,3 mm, z 0,3 do 0,6 mm i z 0,6 do 0,9 mm (tab. 3). W przypadku wieprzowiny chudej ten przedział czasu wyniósł ok. 17 minut (tab. 4), dla fileatów z indyka ok. 19 minut (tab. 5), a dla fileatów z dorsza 20,5 minuty (tab. 6). Obniżenie średniej końcowej temperatury produktu z -18 do -30°C spowodowało wydłużenie czasu zamrażania o dodatkowe 2 minuty, dla każdego zamrażanego produktu (tab. 3-6).

Analizując wpływ rodzaju opakowania i grubości warstwy powietrza 0,3 mm na wartość czasu zamrażania w odniesieniu do produktów nie opakowanych zamrażanych do średniej temperatury końcowej -18°C stwierdzono, że bez względu na rodzaj zamrażanego produktu, czas zamrażania wydłużył się o ok. 32% dla opakowania o najmniejszym oporze cieplnym (folia aluminiowa – A) i o ok. 56% dla opakowania o największym oporze cieplnym (karton parafinowany owinięty w celofan czterowarstwowy – H) (tab. 3-6). Wzrost

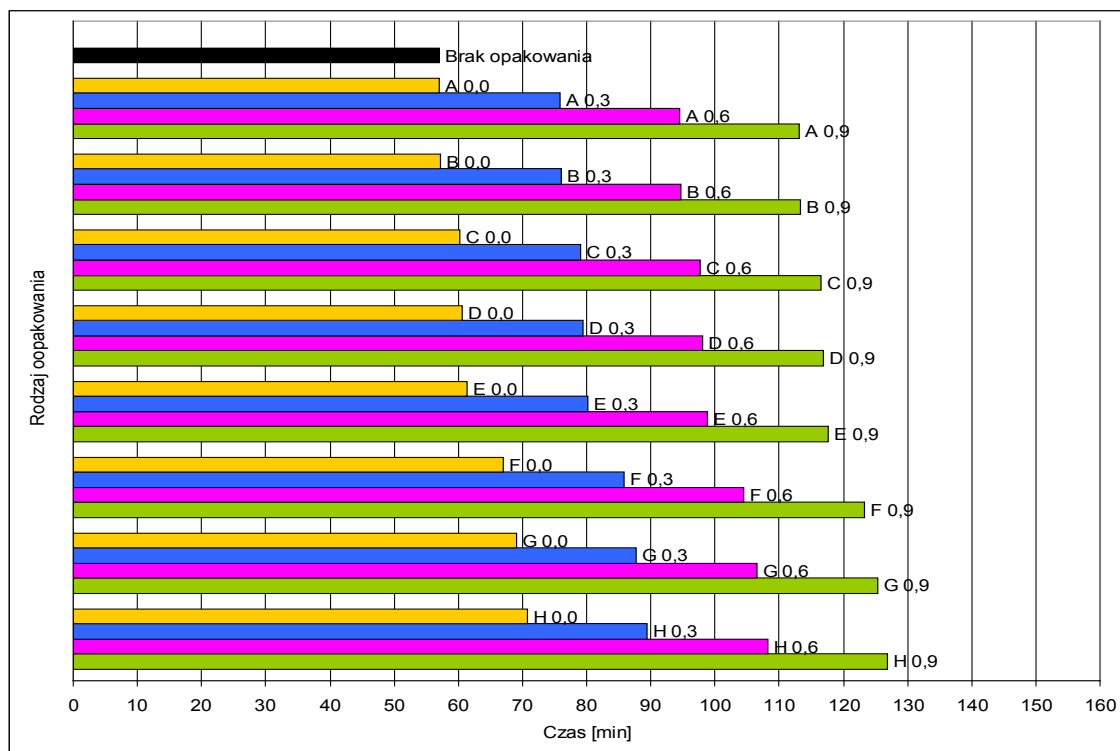


Rys. 1. Czas zamrażania wieprzowiny chudej w opakowaniu, bez i z warstwą powietrza, do temperatury końcowej -18°C: A, B, C, D, E, F, G, H - rodzaj opakowania, 0, 0,3, 0,6, 0,9 – grubość warstwy powietrza w mm.

Fig. 1. Freezing time of lean pork in a packaging, with and without a layer of air, to a final temperature of -18°C: A, B, C, D, E, F, G, H – type packaging, 0, 0,3, 0,6, 0,9 - thickness of the air layer in mm.

Źródło: Badania własne

Source: Own study

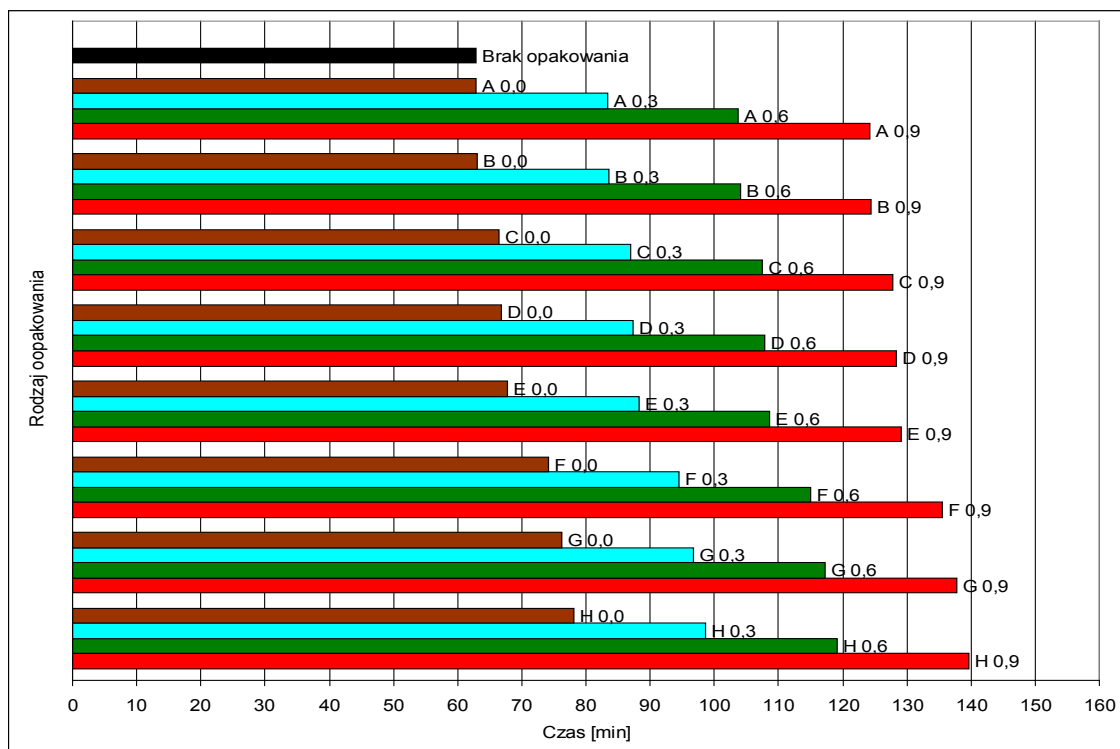


Rys. 2. Czas zamrażania wieprzowiny chudej w opakowaniu, bez i z warstwą powietrza, do temperatury końcowej -30°C: A, B, C, D, E, F, G, H - rodzaj opakowania, 0, 0,3, 0,6, 0,9 – grubość warstwy powietrza w mm.

Fig. 2. Freezing time of lean pork in a packaging, with and without a layer of air, to a final temperature of -30°C: A, B, C, D, E, F, G, H – type packaging, 0, 0,3, 0,6, 0,9 - thickness of the air layer in mm.

Źródło: Badania własne

Source: Own study

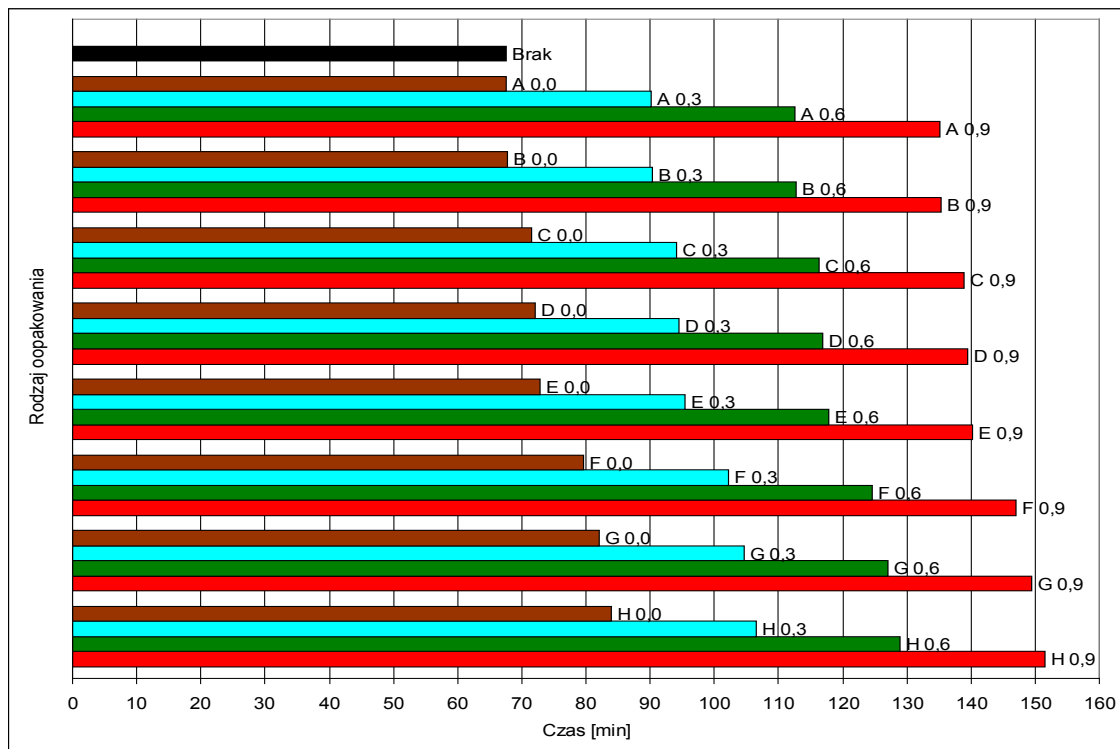


Rys. 3. Czas zamrażania filetów z dorsza w opakowaniu, bez i z warstwą powietrza, do temperatury końcowej -18°C : A, B, C, D, E, F, G i H - rodzaj opakowania, 0, 0,3 0,6, 0,9 – grubość warstwy powietrza w mm.

Fig. 3. Freezing time fillets of cod in the packaging, with and without a layer of air to a final temperature of -18°C : A, B, C, D, E, F, G, H - type of packaging, 0, 0,3 0,6, 0,9 - thickness of the air layer in mm.

Źródło: Badania własne

Source: Own study



Rys. 4. Czas zamrażania filetów z dorsza, bez i z warstwą powietrza, do temperatury końcowej -30°C : A, B, C, D, E, F, G i H - rodzaj opakowania, 0, 0,3 0,6, 0,9 – grubość warstwy powietrza w mm.

Fig. 4. Freezing time fillets of cod in the packaging, with and without a layer of air, to a final temperature of -30°C : A, B, C, D, E, F, G and H - type of packaging, 0, 0,3 0,6, 0,9 - thickness of the air layer in mm.

Źródło: Badania własne

Source: Own study

grubości warstwy powietrza do 0,6 mm spowodował wydłużenie czasu zamrażania ok. 65% (opakowanie A) i o ok. 89% (opakowanie H). Natomiast, kiedy grubość warstwy powietrza wynosiła 0,9 mm, czas zamrażania wydłużył się o ok. 87% (opakowanie A) i o ok. 121 % (opakowanie H). Obniżenie temperatury końcowej produktów z -18 do -30°C spowodowało wydłużenie czasu zamrażania od ok. 6 do ok. 9%, bez względu na wybrany rodzaj opakowania czy obecność lub brak warstwy powietrza dla badanych produktów (tab. 3-6).

WNIOSKI

1. Najkrótszym czasem zamrażania produktów nie opakowanych charakteryzowała się wieprzowina chuda, a najdłuższy czas zamrażania stwierdzono dla filetów z dorsza. Obniżenie temperatury końcowej produktów z -18 do -30°C spowodowało wydłużenie czasu ich zamrażania od 6 do 8%.
2. Rodzaj opakowania miał zróżnicowany wpływ na czas zamrażania, a decydujący wpływ na wydłużenie czasu zamrażania miała wartość oporu cieplnego opakowania. Folia aluminiowa nie miała praktycznie żadnego wpływu na wydłużenie czasu zamrażania, a opakowanie z kartonu parafinowego owiniętego w celofan czterowarstwowy (największy opór cieplny) wydłużyło czas zamrażania o 24,2% w odniesieniu do produktów nie opakowanych.
3. Obecność warstwy powietrza istotnie wydłużyła czas zamrażania, przy czym im grubość warstwy powietrza była większa, tym czas zamrażania był dłuższy.
4. Obniżenie temperatury końcowej badanych produktów z -18 do -30°C, spowodowało wydłużenie czasu zamrażania od 6 do 9%, bez względu na wybrany rodzaj opakowania czy obecność lub brak warstwy powietrza.
5. Przedstawiona analiza wpływu rodzaju opakowania oraz grubości warstwy powietrza na czas zamrażania produktów pochodzenia zwierzęcego przyczyni się do bardziej racjonalnego podejmowania decyzji przy wyborze najkorzystniejszego opakowania i zastosowania optymalnej metody pakowania.

LITERATURA

- [1] **DEMPSEY P., P. BANSAL. 2012.** „The art. of air blast freezing: Design and efficiency considerations”. *Applied Thermal Engineering* 41: 71-83.
- [2] **GRABOWSKA B., Z. KRÓLICKI. 2014.** „Opakowania do mrożonej żywności – charakterystyka, przegląd, normy i przepisy”. *Przemysł Spożywczy* 68(9): 16-18.
- [3] **GRUDA Z., J. POSTOLSKI. 1999.** *Zamrażanie żywności*. Wyd. 3. Warszawa: WNT.
- [4] **KALETA A., J. WOJDALSKI. 1995.** *Technika i gospodarka cieplna*. Warszawa: Wyd. SGGW.
- [5] **KLUZA F., D. GÓRAL. 1993.** „Statystyczna charakterystyka oddziaływania podstawowych parametrów zamrażania produktów spożywczych na efektywny czas trwania procesu”. *Chłodnictwo* 28(1): 27-28.
- [6] **PAŁACHA Z. 2010.** *Właściwości cieplne*. W: *Właściwości fizyczne żywności* (red. Z. Pałacha, I. Sitkiewicz), Warszawa: WNT: 81-112.
- [7] **PAŁACHA Z., D. BUŁKA. 2016.** „Analiza wpływu współczynnika wnikania ciepła na czas zamrażania wybranych owoców w tradycyjnych zamrażarkach owiewowych”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 26/49(2): 48-53.
- [8] **PAŁACHA Z., G. ŚWISTAK. 2015.** „Analiza czasu zamrażania wybranych warzyw przy zmiennych parametrach procesu zamrażania”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 25/46(1): 9-14.
- [9] **PAŁACHA Z., J. KRYSZTIAN. 2014.** „Analiza czasu zamrażania wybranych owoców przy zmiennych parametrach procesu zamrażania”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 24/45(2): 62-67.
- [10] **PAŁACHA Z., J. CIOŁEK. 2012.** „Wpływ temperatury zamrażania na zmiany gęstości wybranych gatunków mięsa”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 24/41(2): 41-45.
- [11] **PAŁACHA Z., E. JANISZEWSKA. 2012.** *Zamrażanie żywności*. W: *Wybrane zagadnienia obliczeniowe inżynierii żywności* (red. D. Witrowa-Rajchert, P.P. Lewicki), Warszawa: Wyd. SGGW: 252-281.
- [12] **PAŁACHA Z., W. RACZYŃSKI. 2005.** „Opracowanie metody oznaczania gęstości wybranych owoców w stanie zamrożonym”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 16/27 (2): 55-59.
- [13] **POSTOLSKI J. 2007.** „Prawie wszystko o... technologii chłodniczej żywności” (cz. 24). *Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna* 1: 11-16.