

Inż. Patrycja JANUS  
 Mgr inż. Angelika ZIÓLKOWSKA  
 Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

## ZUŻYCIE ENERGII W PROCESIE SMAŻENIA CHIPSÓW ZIEMNIACZANYCH®

Opracowano ogólny model matematyczny zużycia energii podczas smażenia żywności. Dla tego modelu sformułowano model zużycia energii na przykładzie smażenia chipsów ziemniaczanych. Badania przeprowadzono teoretycznie i doświadczalnie. Badania teoretyczne polegały na symulacji komputerowej zużycia energii, a badania doświadczalne – na pomiarach jej zużycia podczas smażenia chipsów.

### WPROWADZENIE

„Chipsy” są amerykańską nazwą cienkich plasterków ziemniaczanych, smażonych w gorącym tłuszczu lub oleju do zawartości wody 2 do 3% [1]. W Anglii dla tego produktu używa się nazwy „Crisps”, w pozostałych krajach europejskich przyjęło się określenie amerykańskie.

Z informacji literaturowych wynika, że prowadzone dotychczas badania procesu smażenia żywności dotyczyły głównie zmian fizykochemicznych zachodzących w tłuszczach [5, 8], pod wpływem wysokiej temperatury [1, 6] i długiego czasu nagrzewania [4, 8]. Nie prowadzono natomiast badań zużycia energii w procesie smażenia żywności. Dlatego, w ramach tej pracy, postanowiono uzupełnić istniejącą lukę w literaturze z zakresu zużycia energii, na przykładzie smażenia chipsów ziemniaczanych.

**Głównym celem pracy zaprezentowanej w artykule była ocena zużycia energii cieplnej w procesie smażenia chipsów.**

W świetle tego założenia wyodrębniono do rozwiązania następujące zadania:

- opracowanie ogólnego modelu zużycia energii cieplnej w procesie smażenia żywności,
- sformułowanie szczegółowego modelu zużycia energii cieplnej w procesie smażenia chipsów ziemniaczanych,
- przeprowadzenie symulacji komputerowej teoretycznego zużycia energii cieplnej w procesie smażenia chipsów,
- wykonanie pomiarów zużycia energii cieplnej w procesie smażenia,
- porównanie wyników teoretycznego i rzeczywistego zużycia energii cieplnej w procesie smażenia chipsów,
- ocena modeli matematycznych.

### MODELE MATEMATYCZNE

Równaniem wyjściowym do opracowania ogólnego modelu matematycznego zużycia energii cieplnej w procesie smażenia żywności było równanie bilansu mocy cieplnej [4]. Po podstawieniu do tego równania równań cząstkowych mocy cieplnej niezbędnych m. in. do: nagrzania surowca i wody powierzchniowej, odparowania wody z surowca i jego powierzchni oraz dokonaniu niezbędnych przekształceń matematycznych otrzymuje się ogólny model matematyczny o postaci:

$$\dot{Q} = 1,18 \{ (\dot{m}_1 + \dot{m}_4) [c_1(t_2 - t_1) + r] - (\dot{m}_2 - \dot{m}_3) \} \quad (1)$$

$$[c_1(t_2 - t_1) - c_2(t_3 - t_1) + r] + \dot{m}_3 c_3(t_3 - t_4) + kA(t_6 - t_5)$$

w którym:

- $\dot{Q}$  – moc cieplna wprowadzona do procesu smażenia żywności, kW,
- $\dot{m}_1$  – masa surowca, kg/s,
- $\dot{m}_2$  – masa usmażonego produktu, kg/s,
- $\dot{m}_3$  – masa wchłoniętego tłuszczu przez żywność, kg/s,
- $\dot{m}_4$  – masa wody na powierzchni surowca po płukaniu i uwolnieniu od wody powierzchniowej, kg/s,
- $c_1$  – ciepło właściwe wody, kJ/(kg·K),
- $c_2$  – ciepło właściwe surowca, kJ/(kg·K),
- $c_3$  – ciepło właściwe tłuszczu, kJ/(kg·K),
- $r$  – ciepło parowania wody, kJ/kg,
- $t_1$  – temperatura surowca, °C,
- $t_2$  – temperatura wrzenia wody, °C,
- $t_3$  – temperatura tłuszczu, °C,
- $t_4$  – temperatura tłuszczu dostarczanego do smaźalnika, °C,
- $t_5$  – temperatura otoczenia, °C,
- $t_6$  – temperatura oleju grzewczego, °C,
- $k$  – współczynnik przenikania ciepła przez obudowę smaźalnika, kW/(m<sup>2</sup>·K),
- $A$  – powierzchnia obudowy smaźalnika, m<sup>2</sup>.

Model szczegółowy zużycia energii cieplnej w procesie smażenia chipsów ziemniaczanych ma postać:

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 (1880 + 1,6 \cdot t_3) + 7 \cdot 10^{-3} (t_6 - t_5) \quad (2)$$

Model ten (2) wyprowadzono z ogólnego modelu matematycznego (1), po podstawieniu parametrów technologicznych smażenia chipsów oraz danych konstrukcyjnych smaźalnika (rys. 1). Wyprowadzenie oparto na następujących danych:

- masa usmażonych chipsów  $\dot{m}_2 = 40\% \cdot \dot{m}_1$ ,
- masa wchłoniętego tłuszczu przez chipsy  $\dot{m}_3 = (7-10)\% \cdot \dot{m}_2$ ,

- masa wody na powierzchni plasterków po płukaniu i uwolnieniu od wody powierzchniowej  $\dot{m}_4 = (3,0-3,6)\% \cdot \dot{m}_1$ ,
- ciepło właściwe wody  $c_1 = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ,
- ciepło właściwe ziemniaków  $c_2 = 3,56 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ,
- ciepło właściwe tłuszczu  $c_3 = 2,24 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ,
- ciepło parowania wody  $r = 2257 \text{ kJ}/\text{kg}$ ,
- temperatura surowych plasterków ziemniaczanych  $t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- temperatura wrzenia wody  $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- temperatura tłuszczu dostarczanego do smaźnika  $t_4 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- współczynnik przenikania ciepła przez obudowę smaźnika  $k = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ kW}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,
- powierzchnia obudowy smaźnika  $A = 4,14 \text{ m}^2$ .

## MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym były ziemniaki o wyrównanej wielkości, pomiędzy 40 i 60 mm, bowiem w przypadku ziemniaków mniejszych straty na obieraniu i doczyszczaniu są zbyt duże; natomiast większe ziemniaki dają zbyt duże plasterki, które łatwo się kruszą [1]. Ziemniaki pokrajane na plasterki o grubości 1,0 do 1,7 mm, za pomocą krajalnicy do produkcji chipsów, miały wilgotność 78% i zawartość cukrów redukujących 0,24%.

Przed smażeniem plasterki ziemniaczane przemywano przez 2 do 3 minut w obrotowej płuczce bębnowej w celu usunięcia wolnej skrobi i mniejszych kawałków ziemniaka. Następnie w maksymalnym stopniu uwalniano je od wody powierzchniowej za pomocą sita wibracyjnego, w celu skrócenia czasu smażenia i zmniejszenia zużycia energii cieplnej. Wilgotność tych plasterków oznaczano metodą grawimetryczną [3], a zawartość cukrów redukujących określano metodą podaną przez Adlera [1].

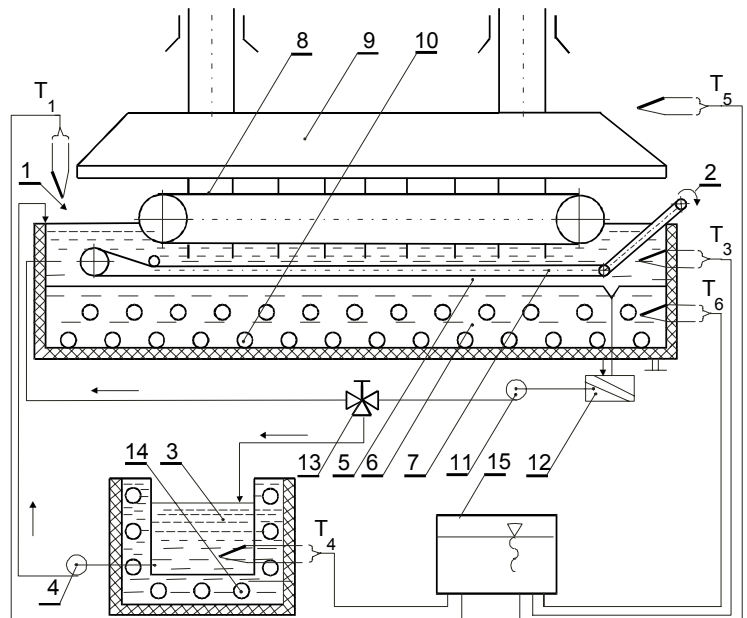
Smażenie plasterków ziemniaczanych odbywało się w zautomatyzowanym smaźniku (rys. 1), w którym tłuszcz krążył w stałym obiegu, a jego temperatura była regulowana automatycznie. Podgrzewanie tłuszczu w wannie 5 odbywało się pośrednio, poprzez wymiennik ciepła – naczynie oleju grzewczego 6. Takie rozwiązanie zapobiega miejscowemu przegrzaniu, które to prowadzi do szybkiego zużycia się tłuszczu. W obiegu tłuszczu zainstalowany jest na zewnątrz smaźnika filtr 12, usuwający z tłuszczu mniejsze cząstki ziemniaków. Pobrana przez chipsy ilość tłuszczu uzupełniana jest świeżym tłuszczem z naczynia roztapiającego 3.

Symulację komputerową zużycia energii cieplnej w procesie smażenia chipsów przeprowadzono za pomocą szczegółowego modelu matematycznego (2). Symulację komputerową i badania rzeczywiste procesu smażenia chipsów przeprowadzono dla:

- strumienia masy plasterków ziemniaczanych na wejściu smaźnika = {0,030, 0,033, 0,036, 0,039} kg/s,
- temperatury tłuszczu  $t_3 = \{140, 150, 160, 170\}^\circ\text{C}$ ,
- temperatury oleju grzewczego  $t_6 = \{178, 187, 199, 210\}^\circ\text{C}$ .

Pomiary mocy cieplnej podczas smażenia chipsów przeprowadzono pośrednio, poprzez pomiar mocy elektrycznej [3] elementów grzejnych 11 w naczyniu oleju grzewczego 6 (rys. 1).

Natomiast energię elektryczną zużyty w procesie smażenia określano jako iloczyn mocy elektrycznej i czasu smażenia chipsów [3, 7].



**Rys. 1.** Urządzenie do smażenia żywności w procesie ciągłym: 1 – wejście surowca, 2 – wyjście usmażonego produktu, 3 – naczynie roztapiacza tłuszczu, 4 – pompa uzupełniająca tłuszcz, 5 – wanna smaźnika, 6 – naczynie oleju grzewczego, 7 – przenośnik taśmowy wybierający, 8 – przenośnik siatkowy z zabierakami, 9 – daszek smaźnika, 10 – elektryczne elementy grzejne, 11 – pompa recykulacyjna, 12 – filtr tłuszczu, 13 – zawór trójdrożny, 14 – elektryczne elementy grzejne, 15 – rejestrator temperatury: surowca na wejściu smaźnika –  $T_1$ , tłuszczu smaźniczego –  $T_3$ , tłuszczu dostarczanego do smaźnika z roztapiacza –  $T_4$ , temperatury otoczenia –  $T_5$ , oleju grzewczego –  $T_6$ .

Ocenę sensoryczną chipsów ziemniaczanych przeprowadzono metodą punktową w skali 5 do 1 [2].

## WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 zestawiono wyniki mocy cieplnej  $\dot{Q}$  uzyskane na drodze symulacji komputerowej procesu smażenia chipsów ziemniaczanych, przy użyciu szczegółowego modelu matematycznego (2). W tabeli podano także teoretyczne wskaźniki jednostkowego zużycia energii cieplnej  $q$ , obliczone na podstawie mocy cieplnej  $\dot{Q}$  i strumienia masy plasterków ziemniaków na wejściu smaźnika.

Przedstawione w tabeli 1 wyniki pokazują, że przy stałym strumieniu masy plasterków ziemniaczanych  $\dot{m}_1$ , moc cieplna  $\dot{Q}$  rośnie liniowo w zależności od temperatury tłuszczu  $t_3$  i jest tym większa, im większy jest strumień masy plasterków  $\dot{m}_1$  na wejściu smaźnika. Otrzymane wyniki można fizycznie wytłumaczyć tym, że ilość ciepła, jaką ciało pobiera przy ogrzewaniu, jest proporcjonalna do jego masy i do przyrostu temperatury.

**Tabela 1.** Teoretyczne wartości mocy cieplnej  $\dot{Q}$  i wskaźnika jednostkowego zużycia energii cieplnej  $q$  w procesie smażenia chipsów ziemniaczanych

Strumień masy plasterków ziemniaczanych $\dot{m}_1$ [kg/s]	Temperatura tłuszczu $t_3$ [°C]	Moc cieplna $\dot{Q}$ [kW]	Wskaźniki jednostkowego zużycia energii cieplnej $q$ [MJ/kg]
0,030	140	64,0	2,13
0,030	150	64,7	2,15
0,030	160	65,3	2,17
0,030	170	65,8	2,19
0,033	140	70,5	2,13
0,033	150	71,1	2,15
0,033	160	71,7	2,17
0,033	170	72,3	2,19
0,036	140	76,8	2,13
0,036	150	77,5	2,15
0,036	160	78,2	2,17
0,036	170	78,8	2,19
0,039	140	83,2	2,13
0,039	150	83,8	2,15
0,039	160	84,6	2,17
0,039	170	85,3	2,19

Z podanych w tabeli 1 wskaźników jednostkowego zużycia energii cieplnej  $q$  widać, że ich wartości rosną zawsze w tym samym przedziale  $q \in \langle 2,13; 2,19 \rangle$  MJ/kg ze wzrostem temperatury tłuszczu  $t_3$ , przy różnych strumieniach plasterków ziemniaczanych  $\dot{m}_1 = \{0,030; 0,033; 0,036; 0,039\}$  kg/s. Na podstawie wyników można więc wnioskować, że teoretycznie na wartość wskaźnika jednostkowego zużycia energii cieplnej  $q$ , podczas smażenia chipsów, nie wpływa strumień masy plasterków na wejściu smaźalnika  $\dot{m}_1$ , lecz temperatura tłuszczu  $t_3$ .

**Tabela 2.** Rzeczywiste wartości mocy cieplnej  $\dot{Q}_{rz}$  i wskaźnika jednostkowego zużycia energii cieplnej  $q_{rz}$  w procesie smażenia chipsów ziemniaczanych

Strumień masy plasterków ziemniaczanych $\dot{m}_1$ [kg/s]	Temperatura tłuszczu $t_3$ [°C]	Moc cieplna $\dot{Q}$ [kW]	Wskaźniki jednostkowego zużycia energii cieplnej $q$ [MJ/kg]
0,030	140	66,5	2,21
0,030	150	67,1	2,23
0,030	160	67,7	2,25
0,030	170	68,4	2,28
0,033	140	72,1	2,18
0,033	150	72,7	2,20
0,033	160	73,4	2,22
0,033	170	74,0	2,24
0,036	140	77,6	2,15
0,036	150	78,2	2,17
0,036	160	78,9	2,19
0,036	170	79,5	2,20
0,039	140	83,7	2,14
0,039	150	84,2	2,15
0,039	160	84,9	2,17
0,039	170	85,4	2,19

W tabeli 2 zestawiono rzeczywiste – empiryczne wyniki mocy cieplnej  $\dot{Q}_{rz}$ , obliczone na podstawie wyników pomiaru mocy elektrycznej elementów grzewczych  $\underline{11}$  w naczyniu oleju grzewczego  $\underline{6}$  (rys. 1), oraz rzeczywiste wskaźniki jednostkowego zużycia energii cieplnej  $q_{rz}$ .

Przy stałym strumieniu masy plasterków ziemniaczanych na wejściu smaźalnika  $\dot{m}_1$ , moc cieplna  $\dot{Q}_{rz}$  rośnie liniowo, w zależności od temperatury tłuszczu  $t_3$ , a więc tak samo, jak teoretyczna moc cieplna  $\dot{Q}$  podczas symulacji komputerowej procesu smażenia. Z porównania tych dwóch mocy cieplnych (tab. 1, 2) widać, że wartości mocy rzeczywistej  $\dot{Q}_{rz}$  są większe niż wartości mocy teoretycznej  $\dot{Q}$ . Fakt ten można uzasadnić tym, że podczas praktycznego badania procesu smażenia chipsów występowała większa strata mocy cieplnej niż przewidywana, 18%, przy opracowaniu ogólnego (1) i szczegółowego (2) modelu matematycznego mocy cieplnej w procesie smażenia chipsów. Różnica pomiędzy mocami cieplnymi: rzeczywistą  $\dot{Q}_{rz}$  i teoretyczną  $\dot{Q}$  wynosi  $\Delta \in \langle 0,1; 2,6 \rangle$  kW dla strumienia masy plasterków ziemniaczanych na wejściu smaźalnika  $\dot{m}_1 \in \langle 0,030; 0,039 \rangle$  kg/s. Stanowi to większe zużycie energii cieplnej w granicach 0,12-3,80%.

Wartości rzeczywistych wskaźników jednostkowego zużycia energii cieplnej  $q_{rz}$  rosną tak samo, jak wskaźniki teoretyczne  $q$  (tab. 1), ze wzrostem temperatury tłuszczu  $t_3$  i strumienia masy plasterków ziemniaczanych (tab. 2). Na wartość teoretycznego wskaźnika jednostkowego zużycia energii  $q$  nie ma wpływu strumień masy plasterków ziemniaczanych  $\dot{m}_1$  (tab. 1).

Na wartość wskaźnika rzeczywistego  $q_{rz}$  mają wpływ: zarówno temperatura tłuszczu  $t_3$ , jak strumień masy plasterków ziemniaczanych (tab. 2). Wskaźnik rzeczywistego zużycia energii  $q_{rz}$  ma większe wartości niż wskaźnik teoretyczny  $q$ , przy czym maksymalna różnica jest niewielka i wynosi:  $\Delta q = q_{rz} - q = 2,28 - 2,13 = 0,15$  MJ/kg. Tak małą różnicę uzyskano dzięki opracowaniu ścisłych modeli matematycznych (1), (2) i przeprowadzeniu dokładnych pomiarów zużycia energii podczas smażenia chipsów ziemniaczanych w zaprezentowanym smaźalniku. Wartości wskaźnika rzeczywistego zużycia energii cieplnej  $q_{rz}$  zmniejszają się w miarę zwiększania strumienia masy plasterków ziemniaczanych,  $\dot{m}_1$  co ma duże znaczenie utylitarne (tab. 2).

**Tabela 3.** Ocena sensoryczna chipsów ziemniaczanych

Temperatura tłuszczu $t_3$ [°C]	Smak [punkty]	Zapach [punkty]	Barwa [punkty]	Suma punktów [punkty]
140	1	3	2	6
150	2	3	3	8
160	3	4	4	11
170	4	4	5	13

W tabeli 3 podano ocenę sensoryczną chipsów ziemniaczanych, z której wynika, że najlepszą jakością uzyskano podczas smażenia plasterków ziemniaczanych w temperaturze tłuszczu 170°C. Na tę ponad dobrą ocenę, w porównaniu ze smażeniem w niższych temperaturach, wpłynęły głównie smak i zapach chipsów.

## WNIOSKI

1. Opracowany ogólny model matematyczny zużycia energii cieplnej jest słuszny dla wszelkiej żywności smażonej w smażalniku o zaprezentowanej w pracy konstrukcji. Na podstawie tego modelu matematycznego można sformułować model szczegółowy dla określonego rodzaju surowca pochodzenia roślinnego i zwierzęcego.

2. Teoretyczne moce cieplne, uzyskane na drodze symulacji komputerowej, są mniejsze niż moce empiryczne procesu smażenia chipsów ziemniaczanych. Również teoretyczne wskaźniki jednostkowego zużycia energii cieplnej są mniejsze niż wskaźniki rzeczywiste.

3. Na podstawie szczegółowego modelu matematycznego zużycia energii w procesie smażenia chipsów ziemniaczanych można z dużą dokładnością wyznaczać komputerowo wskaźniki jednostkowego zużycia energii cieplnej dla potrzeb biur projektowych i przemysłowych. Maksymalna różnica pomiędzy teoretycznym wskaźnikiem jednostkowego zużycia energii cieplnej, a wskaźnikiem rzeczywistym – empirycznym jest niewielka i wynosi 0,15 MJ/kg.

## LITERATURA

- [1] Adler G.: Kartoffeln und Kartoffelerzeugnisse, Verlag Paul Parey, Berlin – Hamburg 1971.
- [2] Baryłko-Pikielna N.: Zarys sensorycznej analizy żywności, WNT, Warszawa 1995.
- [3] Domagała A.: Metodyka pomiarów w inżynierii przemysłu spożywczego, PWRi L, Poznań 1996.
- [4] Hicks T.C.: Fundamental Concepts in the Design of Experiments, 4<sup>th</sup> Ed., Saunders College Publishing, New York 1993.
- [5] Krygier K., Szewczyk M., Rutkowski A.: Wpływ produktów i rodzaju smażenia na jakość oleju, I Krajowe Sympozjum Chemii i Technologii Tłuszczów PAN, Kraków 1979.
- [6] Steinberg E.: Smażenie zanurzeniowe wyrobów gastronomicznych, Niepożądane zmiany w tłuszczach roślinnych używanych do wielokrotnego smażenia, Przegląd Gastronomiczny, 1982, 8, 14-18.
- [7] Wojdalski J. (red.): Energia w przemyśle rolno-spożywczym, SGGW, Warszawa 1998.
- [8] Ziombki H.: Zmiany fizyczne, chemiczne i wartości odżywcze w tłuszczach ogrzewanych, Roczniki P.Z.H., 1989, 30, 473-478.

## HEAT ENERGY CONSUMPTION DURING THE PROCESS OF FRYING POTATO CRISPS

### SUMMARY

*General mathematical model was formulated for heat energy consumption during the process of frying food. On the basis of the general mathematical model, a model of heat energy consumption was formulated on the example of frying potato crisps. The problem was investigated both theoretically and empirically. The theoretical investigation consisted in the computer simulation of heat energy consumption and the experiments – on the measurements of heat energy consumption during the process of frying potato crisps.*