

Inż. Tomasz SZAJNA
Dr hab. inż. Zbigniew PAŁACHA, prof. SGGW
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Wydział Nauk o Żywności, SGGW w Warszawie

BADANIE KINETYKI SORPCJI PARY WODNEJ CHIPSÓW ZIEMNIACZANYCH®

Investigation on the kinetics of water vapor sorption in potato chips®

Słowa kluczowe: chipsy ziemniaczane, kinetyka sorpcji, woda, model Ficka.

W pracy prezentowanej w artykule badano kinetykę sorpcji pary wodnej chipsów ziemniaczanych w środowisku o zróżnicowanej wilgotności względnej powietrza. Wyznaczono krzywe kinetyczne sorpcji pary wodnej oraz wykorzystano model Ficka do opisu danych sorpcyjnych. Sorpcja pary wodnej oraz zawartość wody w materiale wzrastała wraz ze wzrostem wilgotności względnej środowiska i była uwarunkowana różnicą wilgotności między otoczeniem a badanym materiałem. Obecność tłuszczu w chipsach ziemniaczanych spowodowała znaczne obniżenie ich zdolności sorpcyjnych. Model kinetyczny Ficka bardzo dobrze opisywał dane sorpcyjne chipsów ziemniaczanych ($R^2 > 0,99$).

Key words: potato chips, sorption kinetics, water, Fick's model.

In the work presented in the article, the kinetics of water vapor sorption of potato chips in the environment of different relative humidity of the air was investigated. The kinetics curves of water vapor sorption were determined and the Fick's model was used to describe the sorption data. The sorption of water vapor and the water content in the material increased with increasing relative humidity of the environment and was conditioned by the difference in humidity between environment and the tested material. The presence of fat in potato chips caused a significant reduction in their sorption capacity. The Fick's model very well described the sorption data of potato chips ($R^2 > 0,99$).

WSTĘP

Chipsy ziemniaczane są jednym z najbardziej znaczących produktów na rynku przekąsek. Są to cienkie plastry ziemniaka poddane smażeniu w gorącym tłuszczu [8]. Za protoplastę chipsów uważa się kucharza Georga Gruma, który wprowadził ten produkt pod nazwą „Saratoga Chips” w restauracji znajdującej się w mieście Saratoga Springs (USA).

Produkt charakteryzuje się wysoką wartością odżywczą i energetyczną. W celu ograniczenia wartości energetycznej chipsów ziemniaczanych stosowane są nowoczesne technologie ich wytwarzania, zmierzające do zmniejszenia w nich zawartości tłuszczu. Efekt ten uzyskuje się poprzez skrócenie czasu smażenia, wstępne usunięcie części wody z plastrów ziemniaka przez zastosowanie obróbki osmotycznej oraz wykorzystanie obróbki cieplnej mikrofalami, gorącym powietrzem lub parą przegrzaną [4].

W technologii wytwarzania chipsów ziemniaczanych istotnym zjawiskiem jest proces sorpcji, zachodzący już na etapie produkcji. Podczas smażenia plastrów ziemniaczanych zachodzi desorpcja pary wodnej z jednoczesną adsorpcją tłuszczu. Adsorpcja tłuszczu znajdującego się na powierzchni chipsów zachodzi również podczas wychładzania plastrów po wyjściu ze smażalnika. Dlatego bardzo ważnym etapem produkcji chipsów ziemniaczanych jest pakowanie produktu w atmosferze ochronnej w opakowanie barierowe (najczęściej zgrzewana, laminowana folia propylenowa) zapobiegające niekorzystnym procesom utleniania tłuszczu jak

również eliminujące proces sorpcji pary wodnej z otaczającego produkt wilgotnego środowiska [9, 12].

Po otworzeniu opakowania z chipsami ziemniaczanymi następuje bezpośredni kontakt materiału z wilgotnym powietrzem. Jednym z niekorzystnych procesów zachodzących na powierzchni chipsów jest sorpcja pary wodnej. Znajomość kinetyki procesu sorpcji pary wodnej pozwala na przewidywanie czasu, po którym produkt może utracić swoje korzystne właściwości fizyczne (sztywna, krucha i chrupiąca struktura) lub może dojść do utraty stabilności mikrobiologicznej [5].

Czynnikami determinującymi w największym stopniu kinetykę procesu sorpcji pary wodnej są: skład chemiczny, fizykochemiczny stan składników, struktura fizyczna produktu oraz wilgotność i temperatura otoczenia. Dyfuzja molekularna, do której można zaliczyć transport wilgoci w produkcie, jest opisywana pierwszym prawem Ficka i zależy ona od wartości współczynnika dyfuzji, prężności pary wodnej stanowiącej siłę napędową procesu oraz grubości materiału warunkującej jego opór masowy. Ponadto, obecność domen o zróżnicowanym powinowactwie do wody (forma amorficzna lub krystaliczna) oraz ich rozkład w przestrzeni produktu, wpływają na transport wody w materiale [5, 13]. W dostępnej literaturze praktycznie brak jest informacji na temat kinetyki procesu sorpcji pary wodnej w chipsach ziemniaczanych. Poniższy materiał stanowi uzupełnienie wiedzy na ten temat.

Celem artykułu jest pokazanie kinetyki sorpcji pary wodnej chipsów ziemniaczanych w środowisku o zróżnicowanej wilgotności względnej powietrza. Zakres prezentowanej pracy obejmuje wyznaczenie krzywych kinetycznych sorpcji pary wodnej badanego materiału oraz wykorzystanie modelu Ficka do opisu danych sorpcyjnych.

METODYKA BADAŃ

Material badawczy

Material badawczy stanowiły chipsy płaskie o smaku zielona cebulka „Lay’s” (Frito Lay Poland Sp. z o.o.) w opakowaniu o masie 40 g. W skład materiału badawczego wchodziły: ziemniaki, oleje roślinne (palmowy, słonecznikowy), preparat aromatyzujący (sól, cebula w proszku, serwatka w proszku), wzmacniacze smaku (glutaminian monosodowy, 5'-rybonukleotydy disodowe), aromaty (zawierające białka mleka), ser w proszku, regulatory kwasowości (kwas cytrynowy i jabłkowy), barwniki (annato, ekstrakt z papryki), czosnek w proszku i maltodekstryna. Zawartość przyprawy w chipsach wynosiła 6% z zakresem tolerancji $\pm 1\%$. W tabeli 1 przedstawiono zawartość składników odżywczych chipsów ziemniaczanych.

Tabela 1. Zawartość składników odżywczych w chipsach ziemniaczanych deklarowana przez producenta

Table 1. Nutrient content declared by the manufacturer

Składnik	Zawartość składnika w 100 g produktu [g/100g]
Tłuszcz w tym nasycone kwasy tłuszczowe	31 10
Węglowodany w tym cukry	53 2,9
Białko	6,3
Błonnik	4,4
Sól	1,7

Źródło: Dane producenta

Source: Manufacturer's data

Metody analityczne

1. Oznaczenie początkowej zawartości wody

Początkową zawartość wody w chipsach ziemniaczanych oznaczano metodą suszenia pod obniżonym ciśnieniem w suszarce próżniowej Memmert VO500. Próbkę materiału suszono w temperaturze $70 \pm 1^\circ\text{C}$, pod ciśnieniem 1 kPa, przez 24 godziny [1].

2. Oznaczenie początkowej aktywności wody

Początkową aktywność wody chipsów ziemniaczanych zmierzono za pomocą miernika aktywności wody AquaLab w temperaturze $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Pomiar przeprowadzono w 3 równoległych powtórzeniach.

3. Wyznaczenie kinetyki procesu sorpcji pary wodnej

Do wyznaczenia kinetyki procesu sorpcji pary wodnej chipsów ziemniaczanych w warunkach nieustalonych wykorzystano układ pomiarowy, którego zasadniczym elementem

była waga analityczna RADWAG WAS 220/C/2 znajdująca się w pomieszczeniu o stałej temperaturze 25°C , podłączona do komputera z oprogramowaniem Pomiar-Win v.3.0.24 (Radwag). Jako czynniki higrostatyczne zastosowano trzy nasycone wodne roztwory soli (MgCl_2 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, NaCl) oraz wodę destylowaną, które gwarantowały w otoczeniu badanej próbki stałą wilgotność względną powietrza na poziomie 32,8, 52,9, 75,3 i 100,0% [3]. Material, po otwarciu opakowania, rozdrobniono na cząstki o powierzchni ok. $0,5 \text{ cm}^2$, a następnie poddano go suszeniu pod obniżonym ciśnieniem zgodnie z metodyką podaną w p. 1. Suchy material umieszczono w naczynku pomiarowym wykonanym z folii aluminiowej (masa próbki ok. 1 g). Z kolei, naczynko z próbką wstawiono na szalkę wagi, montowano pojemnik z czynnikiem higrostatycznym i natychmiast zapisywano początkową masę próbki oraz uruchamiano program komputerowy. Program komputerowy rejestrował przyrost masy próbki z dokładnością $\pm 0,0001 \text{ g}$ co 10 minut i gromadził dane przez 65,5 h. W celu sprawdzenia reprezentatywności pomiaru, wykonano go w dwóch powtórzeniach dla każdej wilgotności względnej środowiska.

Metody obliczeniowe

1. Obliczenie początkowej zawartości wody w materiale

Początkową zawartość wody w chipsach obliczono ze wzoru:

$$u_p = \frac{m_b - m_c}{m_b - m_a} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie: u_p – początkowa zawartość wody, %,

m_a – masa pustego naczynka, g,

m_b – masa pustego naczynka z próbką przed suszeniem, g,

m_c – masa pustego naczynka z próbką po suszeniu, g.

2. Obliczanie zawartości wody w materiale po czasie τ

Zawartość wody w chipsach, przeliczona na 100 g suchej substancji, obliczono ze wzoru:

$$u_\tau = \frac{m_\tau - m_o}{m_o} \cdot 100 \quad (2)$$

gdzie: u_τ – zawartość wody po czasie τ , g wody/100 g s.s.,

m_o – pierwotna masa próbki suchej, g,

m_τ – masa próbki po czasie τ , g.

Zawartość wody w chipsach, przeliczona na 100 g suchej substancji beztłuszczowej, obliczono ze wzoru:

$$u_{wb} = \frac{m_\tau - m_o}{m_o - \left(\frac{m_t}{100 - u_p} \right) \cdot m_o} \cdot 100 \quad (3)$$

gdzie: u_{wb} – zawartość wody po czasie τ , g wody/100 g s.s.b.,

m_t – zawartość tłuszczu w chipsach, g/100 g produktu.

3. Dopasowanie modelu kinetycznego Ficka do danych sorpcyjnych

Parametry kinetyczne procesu sorpcji pary wodnej wyznaczono z modelu Ficka [2] wykorzystując program komputerowy TableCurve™ 2D v.5.01.01:

$$\frac{u_r - u_\tau}{u_r - u_o} = A \cdot \exp(-K \cdot \tau) \quad (4)$$

gdzie: u_o – początkowa zawartość wody, g wody/100 g s.s.,

u_r – równowagowa zawartość wody, g wody 100 g s.s.,

A – współczynnik kształtu (stała),

K – stała powiązana ze współczynnikiem dyfuzji,

τ – czas, min.

Jakość dopasowania modelu do danych sorpcyjnych określono na podstawie wartości współczynnika determinacji (R^2) obliczonego w programie TableCurve™ 2D v.5.01.01.

OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

Charakterystyka badanego materiału

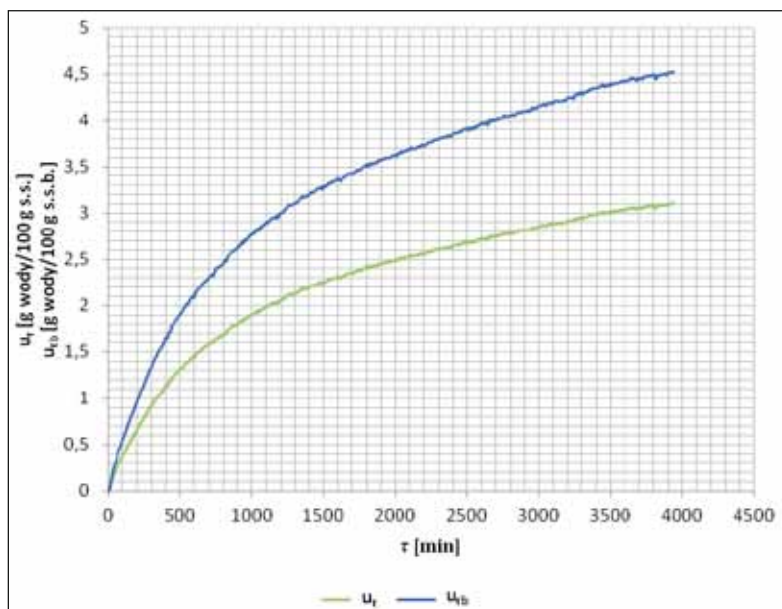
Średnia zawartość wody w badanych chipsach ziemniaczanych wyniosła $0,95 \pm 0,19$ %, a średnia aktywność wody materiału wyniosła $0,203 \pm 0,008$. Zgodnie z podziałem żywności w zależności od poziomu jej aktywności wody, chipsy ziemniaczane należą do żywności o niskiej zawartości wody ($0,00 < a_w < 0,55$) [7].

Przebieg krzywych kinetycznych sorpcji pary wodnej

Na rysunku 1 przedstawiono przebieg krzywych kinetycznych sorpcji pary wodnej w środowisku o najniższej wilgotności względnej 32,8 %. Materiał osiągnął początkową zawartość wody (zawartość wody w chipsach po otwarciu opakowania, $u_p = 0,95$ %) w 290 minucie procesu sorpcji. Sorpcja pary wodnej przebiegała najszybciej do 1380 minuty procesu sorpcji. W tym czasie materiał wchłonął ok. 72 % całkowitej masy wody zaadsorbowanej w procesie sorpcji (65,5 h). Następnie tempo sorpcji pary wodnej zmalało, a materiał nie osiągnął stanu równowagi wilgotnościowej z otaczającym go wilgotnym powietrzem. Przebieg krzywej kinetycznej odnoszącej się do zawartości wody w chipsach w przeliczeniu na 100 g s.s.b. (u_{nb}) był proporcjonalnie wyższy od przebiegu krzywej kinetycznej odnoszącej się do u_τ (zawartość wody, przeliczona na 100 g s.s.). O masie wody zaadsorbowanej w chipsach decydowała liczba centrów aktywnych suchej matrycy zdolnych do wiązania cząsteczek wody. Ponieważ tłuszcz obecny w chipsach jest substancją

hydrofobową, niezdolną do adsorbowania cząsteczek wody, stąd masa wody odnoszona do suchej substancji beztłuszczowej była znacznie większa, a potwierdzeniem tego był przebieg krzywej kinetycznej.

Przebieg krzywych kinetycznych w środowisku o wilgotności względnej 52,9 % przedstawiono na rysunku 2. Materiał osiągnął początkową zawartość wody ($u_p = 0,95$ %) w 50 minucie trwania procesu sorpcji, czyli prawie 6-krotnie

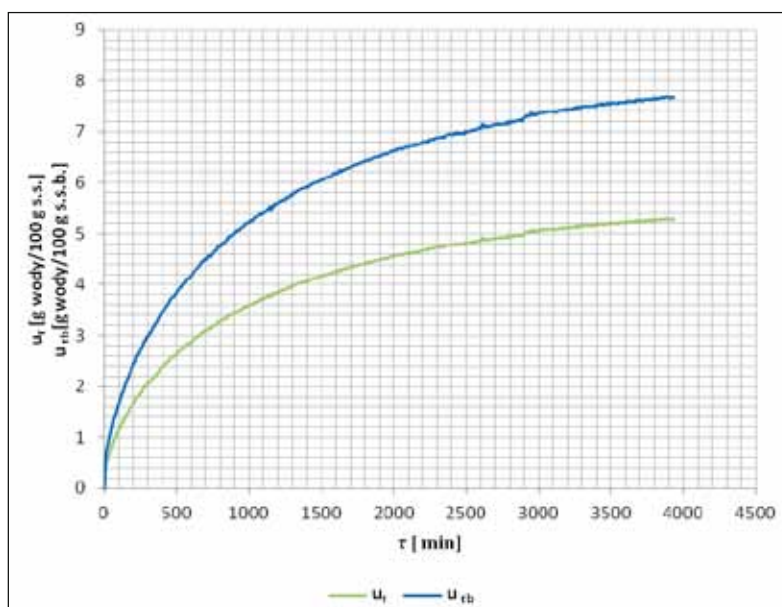


Rys. 1. Krzywe kinetyczne sorpcji pary wodnej w chipsach w środowisku o wilgotności względnej 32,8%.

Fig. 1. Kinetic curves of water vapor sorption in chips in an environment with a relative humidity of 32,8%.

Źródło: Badania własne

Source: The own study



Rys. 2. Krzywe kinetyczne sorpcji pary wodnej w chipsach w środowisku o wilgotności względnej 52,9%.

Fig. 2. Kinetic curves of water vapor sorption in chips in an environment with a relative humidity 52,9%.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

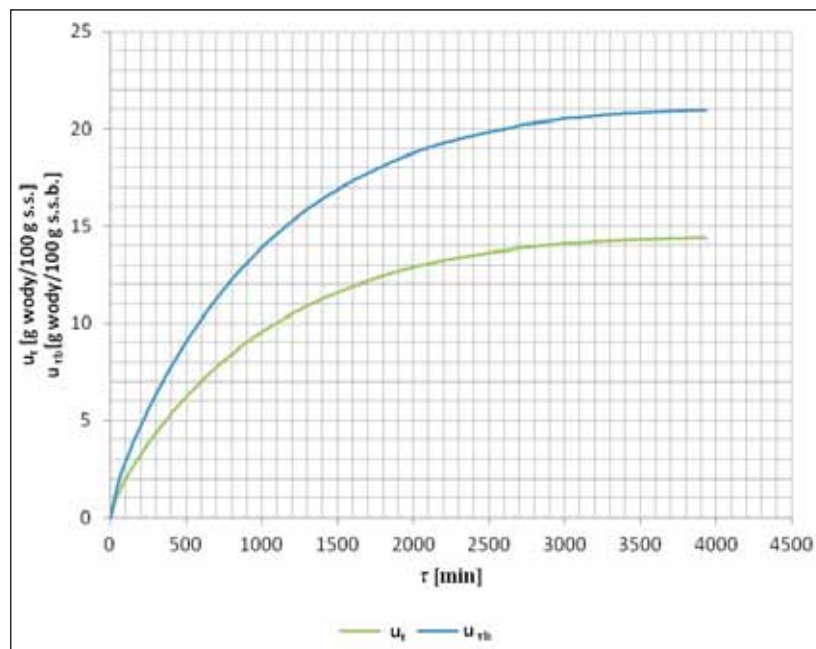
szybciej niż w środowisku o $\varphi = 32,8\%$. Sorpcja pary wodnej przebiegała najszybciej do 1300 minuty procesu sorpcji i w tym czasie materiał wchłonął ok. 77% całkowitej masy wody zaadsorbowanej podczas trwania procesu sorpcji. Stwierdzono, że po tym czasie, tempo sorpcji pary wodnej zmalało w większym stopniu niż w środowisku o $\varphi = 32,8\%$. Tym niemniej, materiał nie osiągnął stanu równowagi wilgotnościowej z otaczającym go środowiskiem wilgotnym. Przebieg krzywej kinetycznej odnoszącej się do u_{tb} był proporcjonalnie wyższy od przebiegu krzywej kinetycznej odnoszącej się do u_t .

Na rysunku 3 przedstawiono przebieg krzywych kinetycznych w środowisku o wilgotności względnej 73,5%. Materiał osiągnął początkową zawartość wody ($u_p = 0,95\%$) w 50 minucie trwania procesu sorpcji, podobnie jak w środowisku o $\varphi = 52,9\%$. Sorpcja pary wodnej przebiegała najszybciej do 1850 minuty procesu sorpcji i w tym czasie materiał wchłonął aż 93% całkowitej masy wody zaadsorbowanej w procesie sorpcji. Po tym czasie, tempo sorpcji pary wodnej zdecydowanie zmalało, w znacznie większym stopniu niż w środowisku o wilgotności względnej 32,8 i 52,9%. Chipsy ponownie nie osiągnęły stanu równowagi wilgotnościowej z otaczającym ich środowiskiem wilgotnym. Przebieg krzywej kinetycznej odnoszącej się do u_{tb} był proporcjonalnie wyższy od przebiegu krzywej kinetycznej odnoszącej się do u_t .

W środowisku o najwyższej wilgotności względnej ($\varphi = 100\%$), chipsy osiągnęły początkową zawartość wody ($u_p = 0,95\%$), już w 10 minucie trwania procesu sorpcji (rys. 4). Sorpcja pary wodnej przebiegała najszybciej do 1100 minuty procesu sorpcji a materiał wchłonął ok. 73% całkowitej masy wody zaadsorbowanej w procesie sorpcji. Po tym czasie, tempo sorpcji pary wodnej zmalało, ale w znacznie mniejszym stopniu niż w środowisku o wilgotności względnej 75,3%. Chipsy ponownie nie osiągnęły stanu równowagi wilgotnościowej z otaczających ich środowiskiem wilgotnym. Przebieg krzywej kinetycznej odnoszącej się do u_{tb} był proporcjonalnie wyższy od przebiegu krzywej kinetycznej odnoszącej się do u_t .

Na rysunku 5 przedstawiono przebieg krzywych kinetycznych sorpcji pary wodnej chipsów w środowisku o różnej wilgotności względnej, odnoszących się do suchej substancji (u_t). Ogólnie, im wyższa była wilgotność względna środowiska w otoczeniu chipsów, tym materiał adsorbował większą masę pary wodnej. W pierwszej godzinie procesu sorpcji materiał w środowisku o $\varphi = 52,9\%$ wchłonął 3,2 razy więcej pary wodnej niż w środowisku o $\varphi = 32,8\%$, a w 24 godzinie procesu, prawie 2 razy więcej. Z kolei, chipsy w środowisku o $\varphi = 75,3\%$, w pierwszej godzinie procesu sorpcji wchłonęły 5,4 razy więcej pary wodnej niż w środowisku

o $\varphi = 32,8\%$, a w 24 godzinie procesu, 4,7 razy więcej. Natomiast w środowisku o największej wilgotności względnej ($\varphi = 100\%$), w pierwszej godzinie procesu sorpcji materiał wchłonął 12,7 razy więcej pary wodnej niż w środowisku o $\varphi = 32,8\%$, a w 24 godzinie procesu, 10,3 razy więcej.

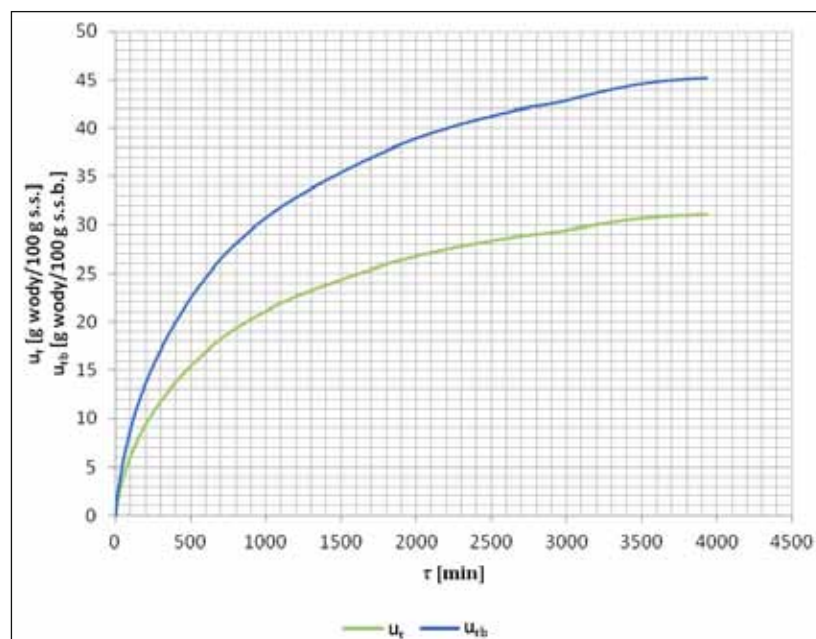


Rys. 3. Krzywe kinetyczne sorpcji pary wodnej w chipsach w środowisku o wilgotności względnej 75,3%.

Fig. 3. Kinetic curves of water vapor sorption in chips in an environment with a relative humidity 75,3%.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

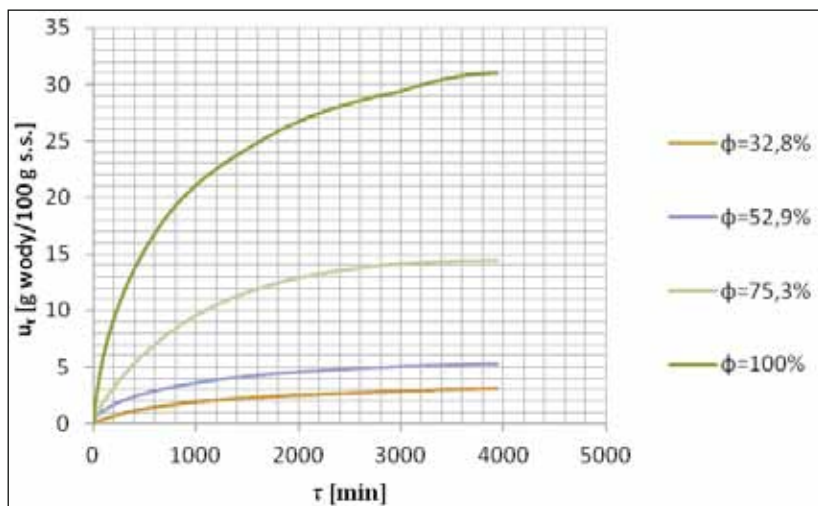


Rys. 4. Krzywe kinetyczne sorpcji pary wodnej w chipsach w środowisku o wilgotności względnej 100%.

Fig. 4. Kinetic curves of water vapor sorption in chips in an environment with a relative humidity 100%.

Źródło: Badania własne

Source: The own study



Rys. 5. Krzywe kinetyczne sorpcji pary wodnej w chipsach w środowisku o różnej wilgotności względnej.

Fig. 5. Kinetic curves of water vapor sorption in chips in an environment with different relative humidity.

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Dopasowanie modelu Ficka do danych sorpcyjnych

W tabeli 2 zestawiono obliczone parametry kinetyczne modelu Ficka oraz pokazano zgodność dopasowania modelu, wyrażoną przez współczynnik determinacji (R^2). Wartość współczynnika determinacji była wyższa od 0,99, co świadczy o bardzo dobrym dopasowaniu modelu do danych sorpcyjnych.

Tabela 2. Parametry modelu Ficka dopasowanego do danych sorpcyjnych

Table 2. Parameters of the Fick's model fitted to the sorption data

Wilgotność względna środowiska [%]	u_r [g wody/100 g s.s.]	K	A	R^2
32,8	3,296	0,000821	0,9194	0,9923
52,9	5,287	0,000949	0,8380	0,9939
75,3	14,722	0,001012	0,9630	0,9998
100,0	30,987	0,000978	0,8633	0,9926

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Równowagowa zawartość wody (u_r) była najniższa w środowisku o wilgotności względnej 32,8 % (3,296 g wody/100 g s.s.) i zwiększała się wraz ze wzrostem wilgotności środowiska, osiągając najwyższą wartość w środowisku o $\phi = 100$ % (30,887 g wody/100 g s.s.). Zwiększenie wilgotności względnej środowiska kolejno do 52,9, 75,3 i 100,0 % spowodowało odpowiednio wzrost równowagowej zawartości wody o 1,6, 4,5 i 9,4 razy. Wartości równowagowej zawartości wody (u_r) były nieznacznie wyższe od końcowej zawartości wody w chipsach po 65,5 godzinach procesu sorpcji pary wodnej. Oznacza to, że chipsy w badanych wilgotnych środowiskach nie osiągnęły z nimi stanu równowagi wilgotnościowej i konieczny jest dłuższy czas do osiągnięcia tego stanu.

Wartości parametru K, powiązanego ze współczynnikiem dyfuzji, zwiększały się wraz ze wzrostem wilgotności względnej środowiska do poziomu 75,3 %, a w środowisku o $\phi = 100$ % stwierdzono nieznacznie niższą wartość (tab. 2). Można stwierdzić ogólną prawidłowość, że dyfuzja pary wodnej w materiale zwiększała się, kiedy wilgotność powietrza otaczającego badaną próbkę chipsów była wyższa.

Wartości stałej A (współczynnik kształtu) mieściły się w przedziale od 0,838 ($\phi = 52,9$ %) do 0,963 ($\phi = 75,3$ %) (tab. 2). Nie stwierdzono jednoznacznego wpływu wilgotności względnej środowiska na wartości tej stałej.

Porównanie badań własnych z danymi literaturowymi

Wyniki badań własnych kinetyki sorpcji pary wodnej chipsów ziemniaczanych porównano z badaniami wybranych higroskopijnych produktów żywnościowych.

Kawa zbożowa orkiszowa po 24 h procesu sorpcji pary wodnej w środowisku o wilgotności względnej 55 % zaadsorbowała 9,3 g wody/100 g s.s. [10]. Badane chipsy ziemniaczane po 24 h procesu sorpcji przy zbliżonej wilgotności względnej środowiska 52,9 %, zaadsorbowały dwukrotnie mniej wody. Prawdopodobnie większe zdolności sorpcyjne kawy zbożowej orkiszowej wynikały głównie ze składu chemicznego i stopnia rozdrobnienia kawy, większej liczby centrów aktywnych matrycy sorpcji oraz mniejszej zawartości tłuszczu.

Ekstrudowane pszenne pieczywo chrupkie po 24 h procesu sorpcji pary wodnej w środowisku o wilgotności względnej 32,8 i 100,0 % zaadsorbowało odpowiednio 7,37 i 47,4 g wody/100 g s.s. [6]. Badane chipsy po 24 h procesu sorpcji w środowisku o wilgotności względnej 32,8 % zaadsorbowały 3,2 razy mniej pary wodnej, a w środowisku o wilgotności względnej 100 % zaadsorbowały dwukrotnie mniej wody. Prawdopodobnie większe zdolności sorpcyjne ekstrudowanego pszenne pieczywa chrupkiego wynikały przede wszystkim z dużej porowatości materiału, większej liczby centrów aktywnych matrycy sorpcji oraz znacznie mniejszej zawartości tłuszczu.

Z kolei, grzanki w zupach instant po 24 h procesu sorpcji pary wodnej w środowisku o wilgotności względnej 55 i 100 % zaadsorbowały odpowiednio 4,5 i 13,5 g wody/100 g s.s. [11]. Badane chipsy po 24 h procesu sorpcji w środowisku o $\phi = 52,9$ % osiągnęły podobną zawartość wody, a w środowisku o $\phi = 100$ % zaadsorbowały prawie 2 razy więcej pary wodnej. Mniejsze zdolności sorpcyjne grzanek w zupach instant mogły wynikać głównie z dużej zawartości tłuszczu pochodzącej ze stosowania powłok tłuszczowych utrudniających sorpcję pary wodnej.

Susz jabłkowy po 24 h procesu sorpcji pary wodnej w środowisku o $\phi = 100$ % osiągnął zróżnicowaną zawartość wody w zależności od metody suszenia jabłek. Jabłka suszone konwekcyjnie osiągnęły od 13,2 do 15,7 g wody/100g s.s. Z kolei jabłka liofilizowane osiągnęły znacznie wyższą zawartość wody wynoszącą od 73,4 do 81,3 g wody/100 g s.s. [14]. Badane chipsy po 24 h procesu

sorpcji pary wodnej w środowisku o $\phi = 100\%$ zaadsorbowały 1,8 razy więcej wody od jabłek suszonych metodą konwekcyjną oraz 3,5 razy mniej wody od jabłek liofilizowanych. Suszenie materiałów metodą liofilizacji sprzyja ograniczeniu skurczu materiału, zwiększeniu jego porowatości, zmienia strukturę składników (więcej domen amorficznych) i w konsekwencji zwiększa liczbę centrów aktywnych matrycy sorpcji. Zdolności sorpcyjne porowatej struktury chipsów powstającej podczas usuwania wody w procesie smażenia są ograniczone przez adsorpcję tłuszczu w jej miejsce [4].

WNIOSKI

1. Sorpcja pary wodnej oraz zawartość wody w chipsach ziemniaczanych wzrastała wraz ze wzrostem wilgotności względnej środowiska i była uwarunkowana różnicą wilgotności między otoczeniem a badanym materiałem.
2. Obecność tłuszczu w chipsach ziemniaczanych spowodowała znaczne obniżenie ich zdolności sorpcyjnych.
3. Chipsy ziemniaczane po 65,5 godzinach procesu sorpcji pary wodnej nie osiągnęły równowagowej zawartości wody w środowisku o zróżnicowanej wilgotności względnej.
4. Model kinetyczny Ficka bardzo dobrze opisywał dane sorpcyjne chipsów ziemniaczanych. Uzyskane wartości współczynnika determinacji były większe od 0,99.

LITERATURA

- [1] **AOAC 1966.** „Official methods of analysis”. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.
- [2] **GONDEK E., P.P. LEWICKI. 2007.** „Izotermy sorpcji pary wodnej suszonych i kandyzowanych owoców”. Acta Scientiarum Poloniarum. Technologia Alimentaria 4(1): 63-71.
- [3] **GREENSPAN L. 1977.** „Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions”. Journal of Research of the National Bureau of Standards – A. Physics and Chemistry 81A: 89-96.
- [4] **KROKIDA M.K., V. OREOPOULOU, Z.B. MARAULIS, D. MIRINOS-KOURIS 2001.** „Deep Fat Frying of potato strips – quality issues”. Drying Technology 19(5): 879-935.
- [5] **LABUZA T.P., B. ALTUNAKAR. 2007.** „Diffusion and Sorption Kinetics of Water in Foods”. In: Water Activity in Foods (eds. G.B. Barbosa-Cánovas, A.J. Fontana Jr, S.J. Schmidt, T.P. Labuza). IFT Press, Blackwell Publishing Ltd.: 215-237.
- [6] **MARZEC A., P.P. LEWICKI 2004.** „Właściwości sorpcyjne pieczywa chrupkiego”. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość 4(41): 44-56.
- [7] **PAŁACHA Z. 2010.** Właściwości sorpcyjne. W: Właściwości fizyczne żywności (red. Z. Pałacha, I. Sitkiewicz), Warszawa: WNT: 143-169.
- [8] **PAŁASIŃSKI M. 1972.** Ziemniak jako surowiec przemysłowy. W: Technologia przetwórstwa ziemniaczanego (red. F. Nowotny), Warszawa: WNT.
- [9] **PEDRESCHI F., P. MOYANO. 2005.** „Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips”. LWT – Food Science and Technology 38: 599-604.
- [10] **RUSZKOWSKA M. 2012.** „Modelowe porównanie właściwości sorpcyjnych kawy zbożowej i orkiszowej”. Inżynieria i Aparatura Chemiczna 50(2): 32-35.
- [11] **RUSZKOWSKA M., A. OCIECZEK, P. PALICH. 2006.** „Właściwości sorpcyjne grzanek zawartych w zupach instantyzowanych”. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość 2(47): 271-279.
- [12] **SOUTHERN C.R., X.D. CHEN, M.M. FARAD, B. HOWARD, L. EYRES. 2000.** „Determining international oil uptake and water content of fried thin potato crisps”. Trans Institution of Chemical Engineers 78: 119-125.
- [13] **SPIESS W.E.L., W. WOLF. 1986.** „The results of the COST project on water activity”. In: Physical Properties of Foods (eds. R. Jowitt, F. Escher, M. Kent, B. McKenna, M. Roques). London: 65-87.
- [14] **WITROWA-RAJCHERT D., A. FABISIAK, J. STAWCZYK. 2006.** „Wpływ metody suszenia i temperatury procesu na właściwości higroskopijne suszu jabłkowego”. Inżynieria Rolnicza 7: 457-463.