

ANNA KACZMAREK, JACEK KIJOWSKI, JAN ZABIELSKI, TOMASZ SZABLEWSKI,
RENATA CEGIJSKA-RADZIEJEWSKA, PAWEŁ KWIATKOWSKI

Katedra Zarządzania Jakością Żywności
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

SZACOWANIE WPLYWU TEMPERATURY PRZECHOWYWANIA NA JAKOŚĆ SENSORYCZNĄ NIETRWAŁYCH WYROBÓW MIĘSNYCH NA PRZYKŁADZIE WĘDLINY PASZTETOWEJ

Streszczenie. Celem pracy była weryfikacja przydatności funkcji czasowo-temperaturowej typu Arrheniusa do modelowania przechowalniczych zmian smaku, zapachu, konsystencji, wyglądu zewnętrznego oraz wyglądu na przekroju nietrwałego wyrobu mięsnego, jakim jest wędlina pasztetowa. Podjęto również próbę wykorzystania wartości energii aktywacji spadku jakości (E_a) poszczególnych wyróżników sensorycznych do obiektywizacji wartości współczynników ważkości. Do badań użyto wędliny podrobowej typu pasztetowa o krótkim terminie przydatności do spożycia. Próbkę były przechowywane w termostatach bez dostępu światła, w kontrolowanych temperaturach ($4 \pm 1^\circ\text{C}$, $12 \pm 1^\circ\text{C}$, $21 \pm 1^\circ\text{C}$, $37 \pm 1^\circ\text{C}$). Konsumentką ocenę sensoryczną w opisowej skali 1-5 przeprowadzono w dniu dostawy wyrobu z zakładu oraz w każdym kolejnym dniu przechowywania. Z równania typu Arrheniusa wyznaczono energię aktywacji spadku jakości E_a (kJ/mol) wyróżników oraz współczynnik częstości zmian jakości k . Na podstawie o wartości E_a wyliczono obiektywne wartości współczynników ważkości wyróżników cech sensorycznych wędliny pasztetowej i wyznaczono sekwencję ich podatności na zmiany przechowalnicze: wygląd zewnętrzny > konsystencja > smak > wygląd na przekroju \approx zapach. Przydatność takiego modelowania matematycznego spadku jakości sensorycznej i mikrobiologicznej wędlin podrobowych jest uzasadniona, jednakże z pewnymi ograniczeniami.

Słowa kluczowe: jakość, wędlina pasztetowa, model czasowo-temperaturowy typu Arrheniusa, prognozowanie przydatności do spożycia

Wstęp

Jakość sensoryczną produktu żywnościowego i jej stabilność w czasie przechowywania jest – obok bezpieczeństwa – najważniejszym wyróżnikiem jakościowym, po-

nieważ to od niej zależy, czy konsument akceptuje produkt i czy w przyszłości będzie do niego powracał. Analiza sensoryczna pozwala określić jakość i intensywność badanych wyróżników, jak i ich pożądalność (GAWĘCKI i BARYŁKO-PIKIELNA 2007). Trwałość jakości sensorycznej jest uzależniona od wielu czynników, takich jak: stan i rodzaj surowców wykorzystanych do produkcji, proces technologiczny, rodzaj zastosowanego opakowania oraz stan mikrobiologiczny gotowego wyrobu. Zmiany jakości sensorycznej są powodowane reakcjami fizyczno-chemicznymi i mikrobiologicznymi (NYCHAS i IN. 2008) zachodzącymi w produkcji żywnościowym, a ich tempo w dużej mierze jest uzależnione od temperatury przechowywania. Zależność taką można opisać w sposób matematyczny (LABUZA i RIBOH 1982, MANZOCCO i IN. 2008, SINGH i IN. 2009). Z uwagi na dużą złożoność procesów powodujących zmiany jakości sensorycznej zalicza się je do reakcji pseudopierwszorzędowych (SPIESS i IN. 1998), a ich zależność od temperatury może być modelowana równaniem typu Arrheniusa (FU i LABUZA 1997). Wielu autorów wskazuje na możliwość zastosowania równania typu Arrheniusa do modelowania wpływu temperatury na cechy sensoryczne żywności. PIAGENTINI i IN. (2005) wykorzystali tę zależność do modelowania zmian organoleptycznych sałaty i cykorii. Wyróżniki, które z powodzeniem modelowano, to: wygląd zewnętrzny, brązowienie liści, wędnięcie oraz pojawianie się obcego zapachu. Mimo iż są to złożone reakcje fizyczno-chemiczne badania wykazały dobre dopasowanie modelu do danych eksperymentalnych. Modelowanie zależności jakości wybranych wyróżników sensorycznych (tekstury, zapachu, aromatu i ogólnej pożądalności) dorady od temperatury z wykorzystaniem równania Arrheniusa zaproponowali również TSIRONI i IN. (2009). Takie samo podejście zaproponowali NIUN i IN. (2008) w modelowaniu zmian jakości sensorycznej skarpia przechowywanego w temperaturach 0, 5, 10 i 15°C.

Badania doświadczalne dostarczają danych o zmianie jakości wybranych wyróżników sensorycznych w różnych temperaturach przechowywania, co pozwala wyznaczyć funkcję jakości dla danego produktu. Znajomość parametrów reakcji pogarszania się jakości wyróżników sensorycznych może być pomocna w wyznaczaniu jakości sensorycznej na końcu łańcucha dystrybucji, tj. tej jakości, którą kupuje konsument.

Celem pracy była weryfikacja przydatności funkcji czasowo-temperaturowej typu Arrheniusa do modelowania przechowalniczych zmian smaku, zapachu, konsystencji, wyglądu zewnętrznego oraz wyglądu na przekroju nietrwałego wyrobu mięsnego, jakim jest wędlina pasztetowa. Podjęto również próbę wykorzystania wartości energii aktywacji zmian jakości (E_a) poszczególnych wyróżników sensorycznych do obiektywizacji wartości współczynników ważkości.

Material i metody

Do badań użyto wędliny podrobowej typu pasztetowa o krótkim terminie przydatności do spożycia. Próbkę były przechowywane w termostatach bez dostępu światła, w kontrolowanych temperaturach ($4 \pm 1^\circ\text{C}$, $12 \pm 1^\circ\text{C}$, $21 \pm 1^\circ\text{C}$, $37 \pm 1^\circ\text{C}$). Konsumentką ocenę sensoryczną według GAWĘCKIEJ i JĘDRYKI (2001) w opisowej skali 1-5 z dokładnością do 0,5 pkt. (9 stopni oceny) przeprowadzono w dniu dostawy wyrobu z zakładu oraz w każdym kolejnym dniu przechowywania. Zespół oceniających liczył pięć

osób przeszkolonych w zakresie analizy sensorycznej. Przedmiotem oceny były: wygląd zewnętrzny, wygląd na przekroju, konsystencja, smak i zapach. Wszystkie obliczenia wykonano na wartościach współczynnika Q . Wyznaczenie współczynnika Q polegało na przekształceniu not punktowych uzyskanych podczas oceny sensorycznej na wartości procentowe. Jakość produktu w pierwszym dniu testu, a tym samym poziom not punktowych oceny sensorycznej w tym dniu, ustalono jako 100%.

Wyznaczenie procentowego ubytku jakości w kolejnych dniach przechowywania polegało na działaniu matematycznym zgodnie ze wzorem (1):

$$Q = \frac{100Q_n}{Q_0} (\%) \quad (1)$$

gdzie:

Q_n – wartość oceny sensorycznej w kolejnych dniach przechowywania (w skali 5-punktowej),

Q_0 – wartość oceny sensorycznej w pierwszym dniu przechowywania (w skali 5-punktowej).

Pogarszanie się jakości produktów spożywczych rozpatrywano z zastosowaniem modeli kinetycznych. Szybkość zmian, jak i wskaźnik jakości Q (kolor, tekstura czy wynik oceny sensorycznej itp.), mogą być wyrażone poniższym równaniem:

$$\pm \frac{dQ}{dt} = -k(Q)^n \quad (2)$$

gdzie:

k – stała szybkość reakcji (/d),

t – czas przechowywania (d).

Zależność pomiędzy czasem przechowywania a jakością produktów spożywczych w stałej temperaturze może być w wielu przypadkach wyrażona za pomocą reakcji kinetycznych rzędu zerowego lub pierwszego: $n = 0$ lub $n = 1$. W reakcjach rzędu zerowego zależność między wyróżnikami jakości a czasem jest liniowa (REN i IN. 2005):

$$-\frac{dQ}{dt} = k \quad (3)$$

Równanie (2) można zapisać w następujący sposób:

$$Q = Q_0 - kt \quad (4)$$

W reakcjach pierwszego rzędu zależność między wyróżnikami jakości a czasem przechowywania ma postać wykładniczą ($n = 1$), a równanie (2) przyjmuje następującą postać:

$$-\frac{dQ}{dt} = kQ \quad (5)$$

co daje:

$$\ln \frac{Q}{Q_0} = -kt \quad (6)$$

Rzędowość reakcji ustalono metodą graficzną opisaną przez SCHWETLICKA (1975). Przeprowadzono analizę regresji liniowej dla ubytku jakości sensorycznej w czasie przechowywania dla reakcji rzędów zerowego, pierwszego i drugiego. Najlepsze dopasowanie ustalono na podstawie współczynnika determinacji (r^2) (HILL i GRIEGER-BLOCK 1980).

Stała szybkość reakcji została wyznaczona na podstawie równania typu Arrheniusa:

$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{Rt}\right) \quad (7)$$

gdzie:

- A – współczynnik częstotliwości, tzw. czynnik przedwykładniczy,
- E_a – energia aktywacji Arrheniusa (kJ/mol),
- R – stała gazowa, $R = 8,314$ (J/mol·K),
- T – temperatura (K).

Równanie to wyraża zależność temperaturową stałej szybkości dla elementarnej reakcji chemicznej.

Funkcję jakości dla reakcji pierwszorzędowych można zapisać następująco (SPIESS i IN. 1998):

$$Q = Q_0 \exp\left[-k \exp\left(-\frac{E_a}{Rt}\right)t\right] \quad (8)$$

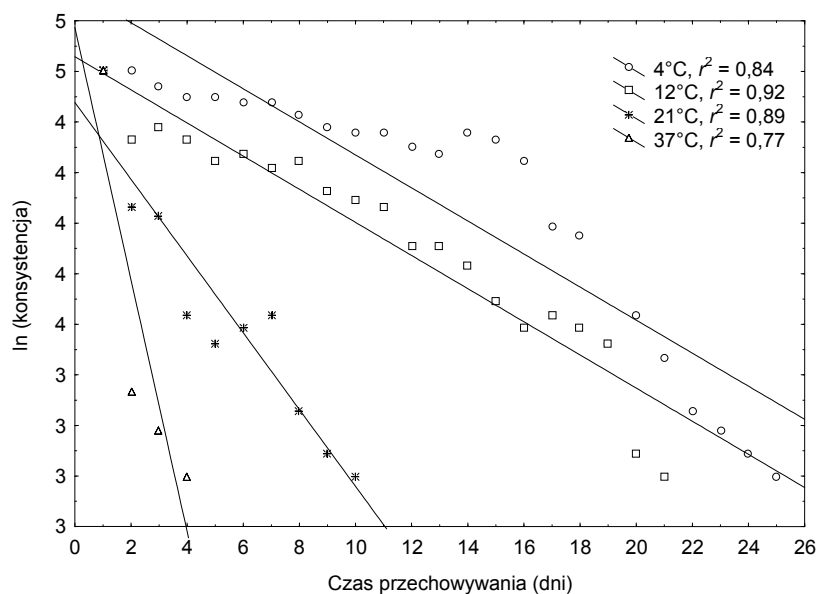
Weryfikacji modeli dokonano na podstawie wartości współczynników r (współczynnik korelacji liniowej Pearsona między wartościami estymowanymi za pomocą modelu i obserwowanymi), r^2 (współczynnik determinacji dla badanej próby), r_s^2 (skorygowany współczynnik determinacji uogólniający wyniki na całą populację) oraz wyników analizy wariancji dopasowania wszystkich współczynników modelu. Do oceny rozbieżności pomiędzy wartościami zmiennej niezależnej a wartościami wyliczonymi z modelu wykorzystano błąd standardowy estymacji (będący wariancją z odchylenia standardowego reszt), który informuje o przeciętnym odchyleniu empirycznych wartości zmiennej niezależnej od wartości wyliczonych z modelu.

Wszystkie obliczenia statystyczne wykonano na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ z wykorzystaniem oprogramowania Statistica v. 8.0.

Wyniki

W celu oceny rzędowości reakcji pogarszania się jakości sensorycznej wędliny wykreślono wykresy rozrzutu i wykonano analizę regresji. Rysunek 1 przedstawia przykładowy wykres zmian jakości sensorycznej wędliny podrobowej przechowywanej

Kaczmarek A., Kijowski J., Zabielski J., Szablewski T., Cegielska-Radziejewska R., Kwiatkowski P., 2010. Szacowanie wpływu temperatury przechowywania na jakość sensoryczną nietrwałych wyrobów mięsnych na przykładzie wędliny paszтетowej. *Nauka Przyr. Technol.* 4, 3, #39.



Rys. 1. Wyniki sensorycznej oceny konsystencji wędliny paszтетowej przechowywanej w różnych temperaturach

Fig. 1. Results of sensory estimation of consistency of smoked liver sausage stored at different temperatures

w różnych temperaturach. Jak wynika z rysunku, wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się tempo spadku średniej oceny sensorycznej badanego wyróżnika. Rezultaty graficznej metody wyznaczania rzędowości reakcji zamieszczono w tabeli 1. Wartości współczynnika determinacji r^2 największe są dla regresji \ln (ocena sensoryczna) względem czasu przechowywania. Oznacza to, że reakcje spadku jakości ocenianej na podstawie

Tabela 1. Szacowanie rzędowości reakcji pogarszania się jakości poszczególnych wyróżników sensorycznych wędliny paszтетowej na podstawie współczynnika determinacji r^2

Table 1. Estimation of the order of sensory attributes quality degradation of smoked liver sausage by examining the r^2 coefficient

Wyróżnik sensoryczny	Reakcja zerowego rzędu (Q vs czas)	Reakcja pierwszego rzędu ($\ln Q$ vs czas)	Reakcja drugiego rzędu ($1/Q$ vs czas)
Wygląd zewnętrzny	0,77 ±0,15	0,92 ±0,03	0,91 ±0,05
Wygląd na przekroju	0,88 ±0,07	0,90 ±0,07	0,83 ±0,15
Konsystencja	0,82 ±0,13	0,86 ±0,07	0,82 ±0,09
Zapach	0,86 ±0,12	0,89 ±0,03	0,88 ±0,01
Smak	0,84 ±0,15	0,89 ±0,07	0,85 ±0,1

pięciu wybranych cech sensorycznych wędliny podrobowej typu pasztetowa przebiegają zgodnie z reakcją pierwszego rzędu. Średnia wartość współczynnika determinacji dla tych reakcji była największa i odznaczała się najmniejszymi odchyleniami.

W tabeli 2 zamieszczono wartości współczynników k_0 i E_a wyznaczonych na podstawie równania typu Arrheniusa. Największą energię aktywacji zmian jakości odnotowano dla zapachu ($E_a = 56,18$), a najmniejszą dla wyglądu zewnętrznego ($E_a = 41,95$). Oznacza to, że właśnie w wyglądzie zewnętrznym najszybciej odnotowywano niekorzystne zmiany sensoryczne.

Tabela 2. Wartości współczynników E_a i k_0 wyznaczone na podstawie równania typu Arrheniusa
Table 2. Values of E_a and k_0 coefficients determined on the basis of Arrhenius type equation

Wyróżnik sensoryczny	E_a (kJ/mol)	k_0 (1/d)	r^2	p
Wygląd zewnętrzny	41,95	$5,272 \times 10^6$	0,923	0,039*
Wygląd na przekroju	55,22	$1,268 \times 10^9$	0,913	0,044*
Konsystencja	47,00	$3,665 \times 10^7$	0,934	0,034*
Zapach	56,18	$2,083 \times 10^9$	0,978	0,011*
Smak	54,30	$9,453 \times 10^8$	0,954	0,023*

*Efekty statystycznie istotne ($p < 0,05$).

Stała szybkość reakcji zmian jakości sensorycznej została obliczona z wykresów zależności między $\ln k$ i $1/T$ z zastosowaniem analizy regresji liniowej (rys. 2).

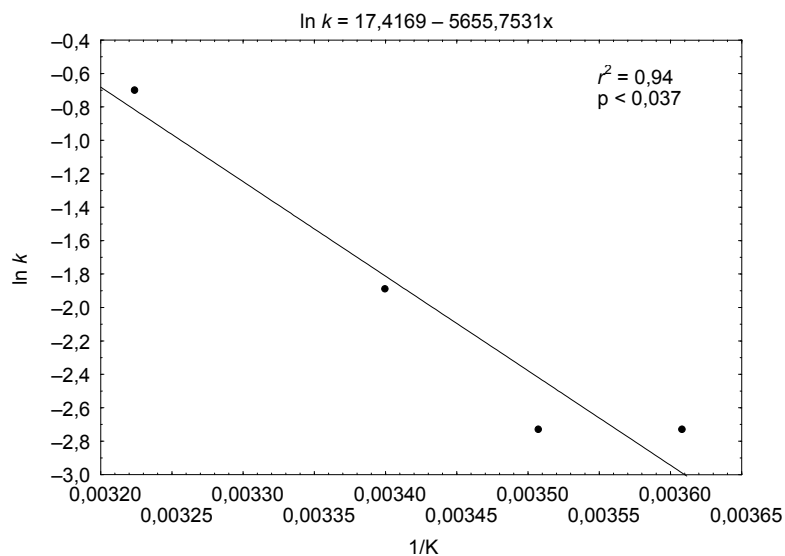
Na podstawie uzyskanych wartości energii aktywacji zmian jakości sensorycznej opracowano współczynniki ważkości dla poszczególnych wyróżników sensorycznych. Najmniejszą wartość energii aktywacji odnotowano dla wyglądu zewnętrznego. Oznacza to, że wyróżnik ten jest w przypadku wędliny pasztetowej najmniej stabilny w czasie przechowywania. Jest to związane ze wczesnym pojawieniem się wysuszek, gdyż wędlina ta jest pakowana w osłonki naturalne, które nie zatrzymują wilgoci tak jak sztuczne. Najbardziej stabilnym wyróżnikiem sensorycznym okazał się zapach, dla którego energia aktywacji zmian jakości sensorycznej wyniosła 56 kJ/mol. Generalnie jednak nie występują zbyt duże różnice w wartościach wyliczonych współczynników ważkości (tab. 3).

Z wykorzystaniem wzorów (6) i (7) stworzono modele kinetyczne zmian wybranych wyróżników sensorycznych (wyglądu zewnętrznego, wyglądu na przekroju, konsystencji, zapachu, smaku) w czasie przechowywania wędliny podrobowej:

$$Q_{Wz} = Q_0 \exp \left[-5,272 \times 10^6 \exp \left(-\frac{41984,88}{RT} \right) t \right]$$

$$Q_{Wnp} = Q_0 \exp \left[-1,268 \times 10^9 \exp \left(-\frac{5522,244}{RT} \right) t \right]$$

Kaczmarek A., Kijowski J., Zabielski J., Szablewski T., Cegielska-Radziejewska R., Kwiatkowski P., 2010. Szacowanie wpływu temperatury przechowywania na jakość sensoryczną nietrwałych wyrobów mięsnych na przykładzie wędliny paszтетowej. *Nauka Przyr. Technol.* 4, 3, #39.



Rys. 2. Równanie regresji służące do wyznaczenia stałych k_0 i E_a w równaniu typu Arrheniusa dla konsystencji wędliny paszтетowej

Fig. 2. Regression equation for determination of k_0 and E_a constants in Arrhenius type equation for consistency of smoked liver sausage

Tabela 3. Współczynniki ważkości wyliczone na podstawie E_a

Table 3. Significance coefficients calculated on the basis of E_a

Wyróżnik jakościowy	Współczynnik ważkości
Wygląd zewnętrzny	0,24
Wygląd na przekroju	0,18
Konsystencja	0,21
Zapach	0,18
Smak	0,19

$$Q_K = Q_0 \exp \left[-3,665 \times 10^7 \exp \left(-\frac{4699,97}{RT} \right) t \right]$$

$$Q_Z = Q_0 \exp \left[-2,083 \times 10^9 \exp \left(-\frac{5618,391}{RT} \right) t \right]$$

$$Q_S = Q_0 \exp \left[-9,453 \times 10^8 \exp \left(-\frac{5430,086}{RT} \right) t \right]$$

Weryfikacji sformułowanych modeli dokonano na podstawie wartości współczynników korelacji i determinacji między wyznaczonymi doświadczalnie i wyliczonymi z modelu wartościami Q .

Z danych przedstawionych w tabeli 4 wynika, że opracowane modele wykazują istotną korelację z danymi empirycznymi w przypadku wszystkich wyróżników sensorycznych w temperaturach 4, 12 i 21°C. W temperaturze 37°C tylko model zmian wyglądu zewnętrznego okazał się istotny statystycznie. Wynika to zapewne ze zbyt małej liczby punktów pomiarowych dla tej temperatury, która przeważnie wynosiła 5. Po tym czasie ocena sensoryczna wynosiła 1.

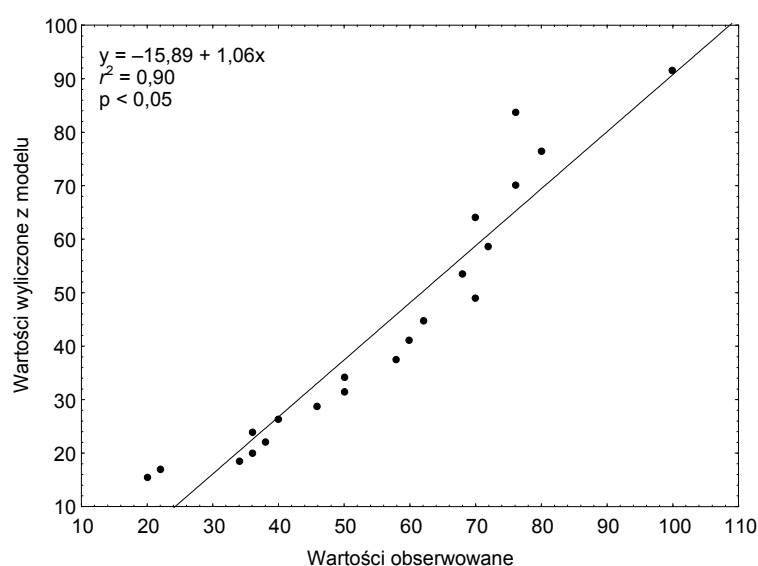
Tabela 4. Analiza korelacji między obserwowanymi i wyliczonymi z modelu wartościami Q wraz z ich odchyleniami oraz analiza wariancji dla modelu regresji liniowej

Table 4. Correlation analysis of observed and predicted Q values with their deviations and the analysis of variance for linear regression model

Wyróżnik sensoryczny	Temperatura (°C)	r	r^2	r_s^2	t_{st}	$p_{t_{st}}$	S_e	F	p_F
Wygląd zewnętrzny	4	0,98	0,97	0,96	24,07	0,00*	3,40	679,50	0,00*
	12	0,95	0,90	0,90	11,44	0,00*	6,90	131,06	0,00*
	21	0,86	0,75	0,71	4,90	0,00*	12,00	23,60	0,00*
	37	0,97	0,94	0,90	5,45	0,03*	6,33	29,65	0,03*
Wygląd na przekroju	4	0,92	0,84	0,84	10,41	0,00*	10,16	108,31	0,00*
	12	0,94	0,88	0,87	10,70	0,00*	7,60	114,51	0,00*
	21	0,94	0,88	0,87	8,32	0,00*	8,10	69,15	0,00*
	37	0,98	0,97	0,93	5,34	0,11	11,12	28,49	0,11
Konsystencja	4	0,91	0,84	0,83	10,86	0,00*	11,01	117,98	0,00*
	12	0,95	0,91	0,90	13,83	0,00*	6,40	191,40	0,00*
	21	0,93	0,86	0,84	6,90	0,00*	9,56	47,57	0,00*
	37	0,91	0,83	0,75	3,15	0,09	19,13	9,93	0,08
Zapach	4	0,94	0,88	0,88	13,25	0,00*	8,81	175,57	0,00*
	12	0,95	0,91	0,90	12,58	0,00*	7,92	158,14	0,00*
	21	0,93	0,87	0,85	6,85	0,00*	9,78	46,90	0,00*
	37	0,97	0,93	0,87	3,73	0,17	16,30	13,92	0,16
Smak	4	0,95	0,91	0,91	15,41	0,00*	7,68	237,50	0,00*
	12	0,94	0,87	0,87	9,52	0,00*	8,53	90,71	0,00*
	21	0,88	0,77	0,74	4,88	0,00*	12,37	23,83	0,00*
	37	0,98	0,96	0,92	4,94	0,13	12,11	24,37	0,12

r – współczynnik korelacji Pearsona, r^2 – współczynnik determinacji regresji liniowej, r_s^2 – skorygowany współczynnik determinacji regresji liniowej uogólniony na populację, t_{st} – iloraz testu t Studenta, p – poziom prawdopodobieństwa testowego przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$, S_e – błąd standardowy estymacji, F – iloraz testu F, * – efekty statystycznie istotne ($p < 0,05$).

Na rysunku 3 widoczny jest wykres korelacji między danymi eksperymentalnymi a wartościami estymowanymi za pomocą modelu kinetycznego, dzięki czemu łatwo uzyskać wizualną ocenę modelu. Zasada jest następująca: im bliżej linii równości leżą naniesione punkty, tym lepiej modele prognozują reakcję pogarszania się badanych wyróżników sensorycznych; różnica pomiędzy naniesionym punktem a linią równości jest miarą niedokładności modelu. Linia równości obrazuje sytuację idealną, gdy obserwowane wartości Q są tożsame z wartościami wyliczonymi z modelu.



Rys. 3. Adekwatność modelu kinetycznego w ocenie sensorycznej konsystencji wędliny paszтетowej przechowywanej w 12°C (linia ciągła oznacza idealne dopasowanie między wartościami obserwowanymi i wyliczonymi z modelu)

Fig. 3. Predictability of the kinetic model for the sensory estimation of consistency of stored at 12°C smoked liver sausage (the solid line represents a perfect match between observed and predicted values)

Dyskusja

Równanie typu Arrheniusa (7) znalazło z powodzeniem szereg zastosowań w modelowaniu zależności czasowo-temperaturowych. W nauce o żywności jednym z kierunków jego wykorzystania jest prognozowanie trwałości produktów żywnościowych (FU i LABUZA 1993). SINGH i IN. (2009) zaproponowali model zmian sensorycznych mleka UHT oparty na wybranych parametrach świadczących o postępujących niekorzystnych zmianach przechowalniczych, takich jak brązowienie, oksydacja czy lipoliza. Zmiany pożądanłości sensorycznej mielonej wołowiny z zastosowaniem analizy przeżycia i równania typu Arrheniusa opisali HOUGH i IN. (2006). TAN i IN. (2001) wykorzystali

równanie typu Arrheniusa w badaniu stabilności oksydacyjnej olejów jadalnych za pomocą kalorymetrii skaningowej, a CALLIGARIS i IN. (2004) wykorzystali tę zależność w badaniu kinetyki zmian oksydacyjnych oleju słonecznikowego w temperaturach od -30 do 60°C . Innym kierunkiem zastosowań równania typu Arrheniusa jest modelowanie zmian wybranych wyróżników produktów żywnościowych, jakie zachodzą pod wpływem działania temperatury, zarówno wysokiej, jak i niskiej (KLIMCZAK i IRZYNIC 2000, TANG i SWANSON 2000, BAIK i MITTAL 2003, ZANONI i IN. 2007). Równanie to znalazło również zastosowanie w modelowaniu wpływu temperatury na długość trwania lagfazy i specyficzną szybkość wzrostu mikroorganizmów powodujących psucie się mielonej wołowiny (LIMBO i IN. 2009).

Brak jest danych literaturowych opisujących zmiany wybranych wyróżników sensorycznych w czasie przechowywania wędlin. Matematyczny opis pogarszania się jakości wędlin na podstawie wyróżników sensorycznych wykorzystujący równanie typu Arrheniusa wydaje się użytecznym narzędziem w prognozowaniu jakości sensorycznej wędlin w czasie dystrybucji i przechowywania.

Wnioski

1. Wykazano istotny wpływ temperatury i czasu przechowywania na pogarszanie się jakości sensorycznej wędliny podrobowej typu pasztetowa, a jej trwałość w temperaturze 4°C oceniono na trzy tygodnie.

2. W przypadku wędliny pasztetowej najbardziej stabilnymi wyróżnikami jakości sensorycznej były zapach i wygląd na przekroju, a najbardziej labilnym wyróżnikiem – wygląd zewnętrzny.

3. Przeprowadzona weryfikacja stworzonych modeli świadczy o ich dobrym dopasowaniu do danych eksperymentalnych, szczególnie w niższych temperaturach, co wskazuje na ich bardzo dużą wartość użytkową.

4. Wykorzystując parametr Q , można dokonać, w ujęciu procentowym, skutecznej prognozy dotyczącej ubytku jakości produktu w zależności od czasu i temperatury przechowywania w odniesieniu do wędliny podrobowej typu pasztetowa.

Literatura

- BAIK O.D., MITTAL G.S., 2003. Kinetics of tofu color changes during deep-fat frying. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 36: 231-236.
- CALLIGARIS S., MANZOCCO L., CONTE L.S., NICOLIA M.C., 2004. Application of a modified Arrhenius equation for the evaluation of oxidation rate of sunflower oil at subzero temperatures. *J. Food Sci.* 69, 8: 361-366.
- FU B., LABUZA T.P., 1993. Shelf-life prediction: theory and application. *Food Control* 4, 3: 125-133.
- FU B., LABUZA T.P., 1997. Shelf-life testing: procedures and prediction methods. W: *Quality in frozen food*. Red. M.C. Erickson, Y.-C. Hung. Chapman and Hall, New York: 377-416.
- GAWĘCKA J., JĘDRYKA T., 2001. *Analiza sensoryczna. Wybrane metody i przykłady zastosowań*. Wyd. AE, Poznań.

Kaczmarek A., Kijowski J., Zabielski J., Szablewski T., Cegielska-Radziejewska R., Kwiatkowski P., 2010. Szacowanie wpływu temperatury przechowywania na jakość sensoryczną nietrwałych wyrobów mięsnych na przykładzie wędliny paszтетowej. *Nauka Przyr. Technol.* 4, 3, #39.

- GAWĘCKI J., BARYŁKO-PIKIELNA N., 2007. Zmysł a jakość żywności i żywienia. Wyd. AR, Poznań.
- HILL C.G., GRIEGER-BLOCK R.A., 1980. Kinetic data: generation interpretation and use. *Food Technol.* 34: 56-66.
- HOUGH G., GARITTA L., GOMEZ G., 2006. Sensory shelf-life predictions by survival analysis accelerated storage models. *Food Qual. Prefer.* 17: 468-474.
- KLIMCZAK J., IRZYNEC Z., 2000. Wpływ temperatury na stabilność przechowalniczą mrożonych brokułów. *Chłodnictwo* 10: 38-41.
- LABUZA T.P., RIBOH D., 1982. Theory and application of Arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses in food. *Food Technol.* 10: 66-74.
- LIMBO S., TORRI L., FRANZETTI L., CASIRAGHI E., 2009. Evaluation and predictive modeling of shelf life of minced beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging at different temperatures. *Meat Sci.* [doi:10.1016/j.meatsci.2009.08.035].
- MANZOCCO L., KRAVINA G., CALLIGARIS S., NICOLI M.C., 2008. Shelf life modeling of photosensitive food: the case of colored beverages. *J. Agric. Food Chem.* 56: 5158-5164.
- NIUN M., ALFARO B., CRUZ Z., ARGARATE N., GEORGE S., LE MARC Y., OLLEY J., PIN C., 2008. Modelling spoilage and of fresh turbot and evaluation of time-temperature integrator (TTI) label under fluctuating temperature. *Int. J. Food Microbiol.* 127: 193-199.
- NYCHAS G.J.E., SKANDAMIS P.N., TASSOU C.C., KOUTSOUMANIS K.P., 2008. Meat spillage during distribution. *Meat Sci.* 78: 77-89.
- PIAGENTINI A.M., MENDEZ J.C., GUEMES D.R., PIROVANI M.E., 2005. Modeling changes of sensory attributes for individual and mixed fresh-cut leafy vegetables. *Postharv. Biol. Technol.* 38: 202-212.
- REN K., TU K., PAN L., CHEN Y., 2005. Kinetics modeling of broccoli color changes during chilled storage. *J. Food Process. Preserv.* 30: 180-193.
- SCHWETLICK K., 1975. Kinetyczne metody badania mechanizmów reakcji. PWN, Warszawa.
- SINGH R.R.B., RUHIL A.P., JAIN D.K., PATEL A.A., PATIL G.R., 2009. Prediction of sensory quality of UHT milk – a comparison of kinetic and neural network approaches. *J. Food Eng.* 92: 146-151.
- SPIESS W.E.L., BOEHME T., WOLF W., 1998. Quality changes during distribution of deep-frozen and chilled foods: distribution chain situations. W: *Food storage stability*. Red. A. Irwin, R. Taub, P. Singh. CRC Press, Boca Raton: 399-417.
- TAN C.P., MAN Y.B., SELAMAT J., YOUSOFF M.S.A., 2001. Application of Arrhenius kinetics to evaluate oxidative stability in vegetable oils by isothermal differential scanning calorimetry. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 78, 11: 1133-1138.
- TANG J., SWANSON B.G., 2000. Kinetics of textural and color changes in green asparagus during thermal treatments. *J. Food Eng.* 45: 231-236.
- TSIRONI T., SALAPA I., TAUKIS P., 2009. Shelf life modelling of osmotically treated chilled gilt-head seabream fillets. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 10: 23-31.
- ZANONI B., LAVELLI V., AMBROSOLI R., GARAVAGLIA L., MINATI J., PAGLIARINI E., 2007. A model to predict shelf-life in air and darkness of cut, ready-to-use, fresh carrots under both isothermal and non-isothermal conditions. *J. Food Eng.* 79: 586-591.

ESTIMATION OF EFFECTS OF STORAGE TEMPERATURE ON SENSORY QUALITY CHANGES DURING STORAGE OF PERISHABLE MEAT PRODUCTS: CASE STUDY OF SMOKED LIVER SAUSAGE

Summary. The aim of the study was to verify the usefulness of time-temperature Arrhenius type function for modelling sensory changes of offal-based processed meats like smoked liver sausage during storage. In this analysis external appearance and appearance at the cross-section, taste, aroma and consistency were evaluated. Based on activation energy (E_a) coefficients of ponderability were determined for all sensory attributes. Storage experiments were conducted with smoked liver sausage at controlled temperatures ($4 \pm 1^\circ\text{C}$, $12 \pm 1^\circ\text{C}$, $21 \pm 1^\circ\text{C}$, $37 \pm 1^\circ\text{C}$) without light for the period until minimum scores were achieved in during the qualified sensory examination (1) in a 5-point scale. Values of activation energy and reaction rate constant were found for results obtained in the experiments using the Arrhenius type time-temperature model. These data were used to develop a universal formula, which would facilitate prediction of stability and shelf-life of smoked liver sausage, depending on storage time and temperature. The susceptibility to quality changes in sensory attributes based on the value of ponderability coefficients was in the following order: external appearance > texture > taste > appearance at the cross-section \approx aroma. Applicability of such mathematical modelling of sensory quality losses in smoked liver sausage has been shown, although with certain limitations.

Key words: quality, smoked liver sausage, Arrhenius type time-temperature model, shelf-life modelling

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Anna Kaczmarek, Katedra Zarządzania Jakością Żywności, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Mazowiecka 41, 60-623 Poznań, Poland, e-mail: ak@up.poznan.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:
29.03.2010

Do cytowania – For citation:

*Kaczmarek A., Kijowski J., Zabielski J., Szablewski T., Cegielska-Radziejewska R., Kwiatkowski P., 2010. Szacowanie wpływu temperatury przechowywania na jakość sensoryczną nietrwałych wyrobów mięsnych na przykładzie wędliny paszтетowej. *Nauka Przyr. Technol.* 4, 3, #39.*