

ANNA KACZMAREK, JAN ZABIELSKI, PIOTR ZIELONKA

**SZACOWANIE WPLYWU WARUNKÓW WĘDZENIA SUROWYCH
WYROBÓW MIĘSNYCH NA MOŻLIWOŚĆ WZROSTU *LISTERIA
MONOCYTOGENES* I *ESCHERICHIA COLI* O157:H7**

Streszczenie

Celem pracy była prognoza wpływu warunków wędzenia trzech gatunków surowych wyrobów mięsnych na możliwość wzrostu bakterii *Listeria monocytogenes* i *Escherichia coli* O157:H7.

Badania przeprowadzono w wybranym zakładzie mięsnym, w rzeczywistych warunkach produkcji handlowej. Obiekt badawczy stanowiły wyroby z 5 partii produkcyjnych schabu surowego, frankfurterek oraz kielbasy polskiej surowej. W produktach wędzonych oznaczano zawartość: soli, azotanów(III), pH oraz czas wędzenia w zakresie temp. 30–37°C. Prognozy wzrostu wybranych patogenów, z uwzględnieniem wyników przeprowadzonych oznaczeń, obliczono za pomocą programu Pathogen Modeling Program 6,0.

Wykazano bardzo dużą zmienność zawartości azotanów(III) ($V = 23,63\text{--}59,76\%$), soli ($V = 10,82\text{--}17,78\%$) oraz rzeczywistych okresów obróbki wędzarniczej ($V = 35,1\text{--}39,1\%$) poszczególnych partii produkcyjnych badanych wyrobów. W konsekwencji, obliczone prognozy okresów stabilności mikrobiologicznej *Escherichia coli* O157:H7 w poszczególnych partiach produkcyjnych schabu surowego charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem ($V = 9\text{--}95\%$). Zastosowane warunki wędzenia spowodowały, że w przypadku kielbasy polskiej oraz frankfurterek prawdopodobne było zakończenie okresu lag-fazy *Escherichia coli* O157:H7 jeszcze w czasie tego zabiegu.

Słowa kluczowe: mikrobiologia prognostyczna, wędzenie, surowe wyroby mięsne.

Wprowadzenie

Wyroby z mięsa peklowanego niepoddawane parzeniu, a jedynie ciepłemu wędzeniu, np. wędzonki lub niektóre kielbasy surowe, uważane są za szczególnie atrakcyjne sensorycznie. Należą też zwykle do droższych asortymentów handlowych i dlatego stanowią dość znaczną ilościowo grupę wyrobów produkowanych w zakładach mięsnych.

Względy ekonomiczne sprawiają, że w realnych warunkach produkcyjnych takie wyroby, jak: schab surowy wędzony, kielbasa polska surowa lub frankfurterki, po zakończeniu cyklu produkcyjnego nie są poddawane dalszym zabiegom utrwalającym, np. podsuszaniu lub dojrzewaniu. W ten sposób zmniejszają się technologiczne możliwości sterowania ich jakością mikrobiologiczną [7]. Dlatego, poza temperaturą przechowywania, głównymi czynnikami regulującymi skażenie mikrobiologiczne będą: kwasowość tych wyrobów, zawartość soli oraz azotanów(III).

Wędzone na surowo, solone i peklowane wyroby mięsne stanowią potencjalne źródło bakterii zarówno *Escherichia coli* [8], jak i *Listeria monocytogenes* [4]. Wykryto, że źródłem infekcji *Escherichia coli* może być nawet fermentowane salami [18]. Oznacza to, że ani peklowanie, ani wędzenie owiewowe nie gwarantują skutecznej eliminacji zagrożenia zdrowia, spowodowanego obecnością tych patogenów. Od dawna wiadomo, że płynne składniki dymu wędzarniczego działają bakterioobójczo lub bakteriostatycznie [6] na patogeny, w tym także na *L. monocytogenes* [1], ale w praktyce produkcyjnej wędzonek i kielbas surowych nie stosuje się płynnych preparatów dymu wędzarniczego.

Zalecany względami technologicznymi zakres temperatury owiewowego wędzenia wędzonek surowych oraz kielbas surowych wynosi od 18 do 25°C, a czas do kilkunastu godzin [13]. W praktyce jednak zabieg ten jest skracany do kilku godzin, przez podwyższenie temp. o około 10 do 12°C. Spowodowane jest to względami zarówno organizacyjnymi produkcji, jak i zmniejszaniem ubytków masy wpływających na wydajność gotowego wyrobu. W taki sposób, przez okres kilku godzin, zostają stworzone optymalne warunki temperaturowe wzrostu bakterii, w tym także *Listeria monocytogenes* i *Escherichia coli*. Dlatego informacje dotyczące czasu i temperatury zabiegu, pH, zawartości soli i azotanów(III) w zestawieniu z metodami mikrobiologii prognostycznej, umożliwią oszacowanie wpływu warunków wędzenia ciepłego na możliwość rozwoju tych patogenów.

Na potrzeby mikrobiologii prognostycznej opracowano wiele modeli i programów komputerowych opisujących wzrost mikroorganizmów w funkcji pH, zawartości soli i azotanów(III) oraz temperatury [5, 10, 16]. Dostępne dane literaturowe potwierdzają przydatność tych narzędzi w szacowaniu ryzyka powstawania zagrożenia mikrobiologicznego mięsa i wyrobów mięsnych [3, 20, 19, 11, 2, 9]. Wykorzystanie mikrobiologii prognostycznej zostało zaakceptowane np. w: dystrybucji mięsa, sprzedaży detalicznej, produkcji fermentowanych wyrobów mięsnych, czy rozbiorze tusz wołowych „na ciepło” w Australii przez tamtejsze władze sanitarne [17].

Potwierdza to celowość opisanych poniżej doświadczeń, w których podjęto próbę stwierdzenia, czy w rzeczywistych warunkach produkcji trzech rodzajów surowych wyrobów mięsnych możliwe jest wystąpienie w czasie obróbki wędzarniczej warunków sprzyjających rozwojowi *Listeria monocytogenes* i *Escherichia coli*.

Materiał i metody badań

Doświadczenia prowadzone były w rzeczywistych warunkach działania zakładu mięsnego na terenie Wielkopolski, w trakcie codziennej produkcji wyrobów mięsnych. Obiektami doświadczalnymi były wyroby z 5 partii produkcyjnych, z których pobrano po trzy próby schabu surowego wędzonego bez kości, kiełbasy polskiej surowej oraz frankfurterek. Schab (mięsień najdłuższy grzbietu) peklowano metodą nastrzykową. W przypadku kiełbasy polskiej surowej (25% wieprzowiny kl. I i 75% wieprzowiny kl. II) oraz frankfurterek (20% wieprzowiny kl. I i 80% wieprzowiny kl. II) stosowano peklowanie surowców poprzez wymieszanie z solą peklującą, bez dodatku wody.

Wędzenie owiewowe wyrobów prowadzono w komorach wędzarniczo-parzelniczych z żarową wytwornicą dymu oraz z możliwością regulacji temperatury zabiegu. Warunki prowadzenia zabiegu każdej partii produkcyjnej wyrobów charakteryzowano poprzez pomiar czasu oraz temperatury, mierzonej wewnątrz geometrycznego środka batonów.

Natychmiast po zakończeniu wędzenia wyrobów mierzono ich kwasowość, stosując pH-metr CP-551 z elektrodą OSH12-01 przystosowaną do bezpośrednich pomiarów pH w mięsie i serach.

Zawartość NaCl oznaczano metodą Mohra [14], a azotanów(III) poprzez reakcję z odczynnikiem Griessa [15].

Uzyskane wyniki parametrów fizykochemicznych poszczególnych partii wyrobów poddano analizie za pomocą programu Pathogen Modeling Program wersja 6 [12]. Szacowano czas trwania lag-fazy i czas wzrostu jednej generacji bakterii przy założonym poziomie skażenia początkowego 1 jtk/g. Jako okres stabilności mikrobiologicznej wyrobów przyjmowano sumę tych wartości, wyliczanych na podstawie prognoz wzrostu *L. monocytogenes* oraz *E. coli* O157:H7.

Wyniki i dyskusja

W tab. 1. zestawiono parametry wędzenia oraz podstawowe wyróżniki fizykochemiczne pięciu partii produkcyjnych badanych wyrobów.

Najmniejszą powtarzalnością charakteryzował się proces peklowania wyrobów, co odzwierciedlają współczynniki zmienności średnich zawartości azotanów(III) i soli. W przypadku frankfurterek z surowców peklowanych "na sucho" współczynnik zmienności azotanów(III) wyniósł prawie 60%. Fakt występowania tak znaczącej zmienności zawartości azotanów(III) oraz soli pomiędzy partiami produkcyjnymi wskazuje na prawdopodobieństwo zróżnicowanego czasu stabilności mikrobiologicznej poszczególnych partii produkcyjnych tych samych sortymentów. Ponadto, w przypadku schabu surowego wędzonego, w czterech spośród pięciu partii produkcyjnych (80%) przekroczona była dopuszczalna zawartość azotanów(III) w produkcie finalnym. Zmienność wartości pH nie była duża, co potwierdza lepsze wyrównanie kwasowości badanych wyrobów.

Tabela 1

Parametry zabiegu wędzenia oraz podstawowe wyróżniki fizykochemiczne badanych wyrobów mięsnych.
Parameters of smoking process and basic physical & chemical characteristics of meat products studied.

Rodzaj wyrobu Product type	Partia produkcyjna Production batch	pH*	NaCl [%]*	Azotany(III)* [mg/kg] Nitrates(III)	Temperatura wędzenia [°C] Smoking temp.[°C]	Czas wędzenia [godz] Smoking time [h]
Schab surowy Raw pork loin	1	5,16	4,36	142,17	37	3,50
	2	5,75	3,59	74,14	36	5,20
	3	5,88	4,13	107,24	35	2,45
	4	5,95	3,47	137,62	37	2,35
	5	5,90	3,39	127,25	37	3,00
	\bar{x}	5,73	3,99	117,68	36,4	3,3
	SD	0,33	0,43	27,81	0,89	1,1
	V [%]	5,70	10,82	23,63	2,45	35,1
Frankfurterki Frankfurters	1	5,24	2,31	16,12	30	3
	2	5,43	2,28	26,17	33	5,2
	3	5,54	2,26	54,05	32	2,45
	4	5,79	2,61	48,70	32	2,35
	5	5,60	2,90	12,72	32	2,45
	\bar{x}	5,52	2,47	31,55	31,8	3,1
	SD	0,20	0,27	18,85	1,1	1,2
	V [%]	3,70	11,26	59,76	3,4	39,1
Kiełbasa polska surowa Polish raw sausage	1	5,37	3,09	70,90	30	3
	2	5,64	2,32	36,18	33	5,2
	3	5,97	2,62	85,28	32	2,45
	4	5,86	1,89	39,57	32	2,35
	5	5,98	2,41	52,57	32	2,45
	\bar{x}	5,76	2,46	56,9	31,8	3,1
	SD	0,25	0,43	20,91	1,1	1,2
	V [%]	4,50	17,78	36,76	3,4	39,0

V – współczynnik zmienności / variability coefficient; \bar{x} – wartość średnia / mean value; SD – odchylenie standardowe / standard deviation;

* – wartości średnie z 3 oznaczeń / mean values of 3 measurements

O ile temperatura wędzenia charakteryzowała się bardzo małą zmiennością, to czas wędzenia poszczególnych partii wyrobów był zróżnicowany – współczynniki zmienności wahały się od 35,1 do 39,1%. Warto podkreślić, że temperatura wędzenia jest regulowana nastawami sterowników komór i dlatego współczynniki zmienności tego parametru są małe, natomiast o czasie zabiegu decyduje obsługa urządzeń i organizacja produkcji. W kategoriach sterowania procesami jest więc

prawdopodobne, że czas wędzenia oraz peklowanie surowców mogą być źródłem zmienności nadmiarowej.

Na podstawie danych obróbki wędzarniczej poszczególnych partii wyrobów obliczono prognozy wzrostu i okres stabilności mikrobiologicznej *L. monocytogenes* oraz *E. coli* O157:H7 i przedstawiono je w tab. 2.

Tabela 2

Szacowanie parametrów wzrostu *Listeria monocytogenes* i *Escherichia coli* O157:H7 w surowych wyrobach mięsnych podczas zabiegu wędzenia.

Predicting the growth parameter levels of *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 in meat products being smoked.

Rodzaj wyrobu Product type	Seria Batch	Czas trwania lag-fazy [godz.] Lag phase duration [h]	Czas 1 generacji [godz.] Generation time [h]	Okres stabilności mikrobiologicznej (lag-faza+czas 1 generacji) [godz.] Microbial stability time (lag-phase + 1 generation) [h]	Czas wędzenia [godz.] Smoking time	
Schab surowy Raw pork loin	<i>Listeria monocytogenes</i>					
	1	47,3	3,2	50,5	3,50	
	2	7,5	0,8	8,3	5,20	
	3	8	0,9	8,9	2,45	
	4	6,3	0,8	7,1	2,35	
	5	11,6	1,1	12,7	3,00	
	<i>Escherichia coli</i> O157:H7					
	1	25,3	1,4	26,7	3,00	
	2	7,6	0,8	8,4	5,20	
	3	9,5	0,8	10,3	2,45	
	4	7,6	0,7	8,1	2,35	
	5	12,3	0,9	13,2	2,45	
	Frankfurterki Frankfurters	<i>Listeria monocytogenes</i>				
		1	11,5	1,1	12,6	3,00
		2	7,4	0,8	8,2	5,20
3		7,9	0,9	8,8	2,45	
4		5,7	0,7	6,4	2,35	
5		6,6	0,7	7,3	2,45	
<i>Escherichia coli</i> O157:H7						
1		5,5	1,1	6,6	3,00	
2		4,5	0,8	5,3	5,20	
3		4,8	0,8	5,6	2,45	
4		4,5	0,7	5,2	2,35	
5		5,2	0,9	6,1	2,45	

c.d. Tab. 2

polska surowa Polish RAW	<i>Listeria monocytogenes</i>				
	1	14,3	1,4	5,7	3,00
	2	5,9	0,7	6,6	5,20

3	5,4	0,7	6,1	2,45
4	4,2	0,6	4,8	2,35
5	4,5	0,6	5,1	2,45
<i>Escherichia coli</i> O157:H7				
1	8,2	1,1	9,3	3,00
2	4,1	0,7	4,8	5,20
3	4,4	0,7	5,1	2,45
4	3,2	0,6	3,8	2,35
5	3,8	0,6	4,4	2,45

Objaśnienia: / Explanatory notes:

Druk wytłuszczony – okres stabilności mikrobiologicznej zbliżony do czasu obróbki wędzarniczej;

Bold – microbial stability time appearing close to the time period of smoking the products analysed.

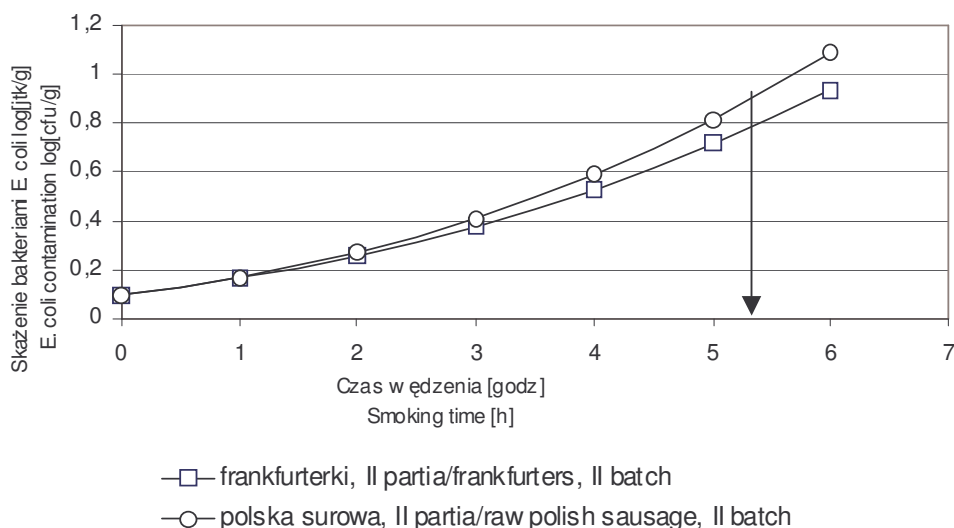
Tabela 3

Zmienność okresów stabilności mikrobiologicznej badanych wyrobów mięsnych.

Variability of microbial stability as stated for the meat products studied.

Rodzaj wyrobu Product type	Parametry rozkładu Distribution parameters	Gatunek bakterii Bacteria species	
		<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Escherichia coli</i> O157:H7
Schab surowy Raw pork loin	\bar{x} [godz.] / [h]	17,5	5,8
	SD [godz.] / [h]	16,6	0,5
	V [%]	94,9	9,0
Frankfurterki Frankfurters	\bar{x} [godz.] / [h]	13,3	5,7
	SD [godz.] / [h]	6,9	0,6
	V [%]	51,9	11,5
Kiełbasa polska surowa Raw Polish sausage	\bar{x} [godz.] / [h]	8,7	5,5
	SD [godz.] / [h]	2,1	1,9
	V [%]	24,6	35,7

Obliczone w prognozie okresy stabilności mikrobiologicznej badanych wyrobów charakteryzowały się bardzo dużą zmiennością w poszczególnych partiach produkcyjnych. W dwóch przypadkach, to jest w drugiej partii produkcyjnej frankfurterek oraz w drugiej partii kiełbasy polskiej surowej, wyliczone okresy stabilności mikrobiologicznej *Escherichia coli* O157:H7 były niemal takie same lub krótsze od czasów wędzenia. Prognozę krzywych wzrostu Gomperta *E. coli* O157:H7 tych przypadków przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Szacowanie krzywych wzrostu *Escherichia coli* O157:H7 w procesie wędzenia (strzałką zaznaczono koniec wędzenia tych partii wyrobów).

Fig. 1. Predicting the growth curves of *Escherichia coli* O157:H7 during the smoking (the arrow indicates that the smoking process of a particular production batch of products studies has ended).

Duża zmienność parametrów peklowania surowców w połączeniu ze zróżnicowanym czasem wędzenia sprawiają, że obliczone w prognozie okresy stabilności mikrobiologicznej wyrobów są również bardzo zróżnicowane (tab. 3).

Współczynniki zmienności okresów stabilności mikrobiologicznej badanych wyrobów wynoszą od 9 do 95% (schab surowy; *E. coli*). Wskazuje to, że jakość mikrobiologiczna poszczególnych partii produkcyjnych badanych wyrobów mogła być potencjalnie bardzo zróżnicowana.

Połączenie różnych czynników fizykochemicznych z powodzeniem może zabezpieczać produkty przed rozwojem mikroflory chorobotwórczej. Jednakże w rzeczywistych warunkach produkcyjnych surowych wyrobów mięsnych mogą zaistnieć takie wzajemne interakcje cech surowców, substancji peklujących, czasu i temperatury wędzenia, w wyniku których prawdopodobne jest zakończenie okresów lag-fazy niektórych bakterii chorobotwórczych. Dlatego szybkie i efektywne wychładzanie poprodukcyjne oraz utrzymanie ciągłości łańcucha chłodniczego będzie warunkować bezpieczeństwo mikrobiologiczne tych wyrobów.

Wnioski

1. W rzeczywistych warunkach produkcji wędzonych, surowych i peklowanych wyrobów mięsnych temp. wędzenia w zakresie 30–37°C może potencjalnie

- doprowadzić do stworzenia warunków umożliwiających zakończenie okresu lag-fazy niektórych bakterii chorobotwórczych.
2. Zakończenie czasu lag-fazy może wystąpić w jednej na pięć partii produkcyjnych dwóch gatunków wyrobów, czyli w 20% ich masy produkcyjnej. Sprzyjać temu będzie czas wędzenia dłuższy niż 4 godz. w zastosowanej temperaturze oraz zmienność zawartości soli i azotanów(III) w surowcach użytych do produkcji badanych wyrobów.
 3. Konieczna jest poprawa jakościowej i technologicznej efektywności peklowania w celu zapobieżenia możliwości realnego wystąpienia zagrożenia mikrobiologicznego.

Literatura

- [1] Faith N.G., Yousef A.E., Luchansky L.B.: Inhibition of *Listeria monocytogenes* by liquid smoke and isoegenol, a phenolic component found in smoke. J. Food Safety, 1992, **12**, 303-314.
- [2] Fujikawa H., Kokubo Y.: Practical application of predictive microbiology software programs to HACCP plans. J. Food. Hyg. Soc. Japan., 2000, **42**, 252-256.
- [3] Giffel M.C., Zwietering M.H.: Validation of predictive models describing the growth of *Listeria monocytogenes*. Int. J. Food Microbiol., 1999, **46**, 135-149.
- [4] Guerra M.M., McLauchlin J., Bernardo F.A.: *Listeria* in ready-to-eat and unprocessed foods produced in Portugal. Food Microbiol., 2001, **18**, 423-429.
- [5] Kołożyn-Krajewska D., Jałosińska-Pieńkowska M.: Założenia, zasady i przyszłość prognozowania mikrobiologicznego. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 1999, **4 (21)**, 22-23.
- [6] Kurko W.I.: Chemiczne i fizykochemiczne podstawy procesu wędzenia. WPLiS. Warszawa 1963.
- [7] Leistner L.: Basic aspects of food preservation by hurdle technology. Int. J. Food Microbiol., 2000, **55**, 181-186.
- [8] Liddell K.G.: *Escherichia coli* O157:H7 outbreak in central Scotland. Lancet, 1997, **349**, 502-503.
- [9] McClure P.J., Beaumont A.L., Shutherland J.P., Roberts T.A.: Predictive modeling of growth of *Listeria monocytogenes*. The effects on growth of NaCl, pH, storage temperature and NaNO₂. Int. J. Food Microbiol., 1997, **34**, 221-232.
- [10] McDonald K., Sun D.: Predictive food microbiology for the meat industry: a review. Int. J. Food Microbiol., 1999, **52**, 1-27
- [11] Mellefont L.A., McMeekin T.A., Ross, T.: Performance evaluation of a model describing the effects of temperature, water activity, pH and lactic acid concentration on the growth of *Escherichia coli*. Int. J. Food Microbiol., 2003, **82**, 45-58.
- [12] Pathogen Modeling Program manual, version 4.0, USDA Eastern Regional Center.
- [13] Pezacki W.: Przetwarzanie jadalnych surowców rzeźnych. PWN. Warszawa 1984.
- [14] PN-73/A-82112, Mięso i przetwory mięsne. Oznaczanie zawartości soli kuchennej.
- [15] PN-74/A-82114, Mięso i przetwory mięsne. Oznaczanie zawartości azotynów i azotanów.
- [16] Skinner G.E., Larkin J.W.: Mathematical modelling of microbial growth: a review. J. of Food Safety, 1994, **14**, 175-217.
- [17] Summer J., Krist K.: The use of predictive microbiology by the Australian meat industry. Int. J. Food Microbiol., 2002, **73**, 363-366.
- [18] Tilden J. Jr., Young W., McNamara A.M.: A new route of transmission for *Escherichia coli*: infection from dry fermented salami. Am. J. Publ. Hlth., 1996, **86**, 1142-1145.
- [19] Walls I., Scott V.N.: Validation of predictive mathematical models describing growth of *Escherichia coli* O157:H7 in raw ground beef. J. Food Protection, 1996, **59**, 1331-1335.

- [20] Walls I., Scott V.N.: Validation of predictive mathematical models describing the growth of *Listeria monocytogenes*. J. Food Protection, 1997, **60**, 1142-1145.

PREDICTING THE EFFECT OF SMOKING CONDITIONS ON THE GROWTH OF *LISTERIA MONOCYTOGENES* AND *ESCHERICHIA COLI* O157:H7 IN RAW MEAT PRODUCTS

S u m m a r y

The objective of the study was to predict the effect of smoking conditions applied to smoke three types of raw meat products on the potential for *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 to grow in those products.

The study was performed in a selected meat processing plant, under real production conditions as existing during any regular, commercial production process carried out in this plant

The study target comprised five batches of the following products being produced: a raw pork loin, Frankfurter sausages, and a raw soft 'Polish' sausage. The following parameters of products being smoked were determined: contents of salts and nitrates(III), pH, and the smoking process temperatures within a range from 30°C to 37°C. The pathogen growth levels being predicted were calculated using a Pathogen Modelling Software, version 6.0; the calculations performed included the parameters as determined above.

With regard to individual production batches of products under analysis, there were stated very high variations among the following parameters characterizing the same product type in all 5 batches: contents of nitrates (III) ($V = 23.63\text{--}59.6\%$), contents of salts ($V = 10.82\text{--}17.78\%$), and real smoking times ($V = 35.1\text{--}39.1\%$). Consequently, there were high differences among predicted periods of microbial stability of *Escherichia coli* O157:H7 calculated for each individual production batch of raw pork loin ($V = 9\text{--}95\%$). The smoking conditions applied in this plant caused that, in the case of the Polish sausages and Frankfurter sausages, it was possible for the lag-phase of *Escherichia coli* O157:H7 to end prior to the completion of the entire smoking process.

Key words: predictive microbiology, smoking, raw meat products. ☒