



„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca
w obszary wiejskie”

Mariusz Rudy¹, Marian Gil¹, Renata Stanisławczyk¹, Paulina Duma-Kocan¹, Marcin Bajcar², Katarzyna Strus²

Zastosowanie wirującego pola magnetycznego do utrwalania mięsa wieprzowego przechowywanego chłodniczo

The use of a rotating magnetic field to preserve pork meat stored cooled

Adres: dr hab. inż. Mariusz Rudy, prof. UR

¹ Zakład Przetwórstwa i Towaroznawstwa Rolniczego, Instytut Technologii Żywności i Żywnienia, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Żelwerowicza 4/D9, 35-601 Rzeszów,
e-mail: mrudy@ur.edu.pl

² Katedra Bioenergetyki, Analizy Żywności i Mikrobiologii, Instytut Technologii Żywności i Żywnienia, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Żelwerowicza 4/D9, 35-601 Rzeszów,

Summary

The magnetic field is a non-thermal method of food preservation, which has little effect on reducing the nutritional value, flavor and functional properties. The aim of the study was to investigate the effect of the application of a rotating magnetic field on the physicochemical, technological and sensory properties as well as the nutritional value and durability of pork (ham, shoulder and loin) refrigerated. The research material consisted of muscle samples: hams (semimembranous - *m. semimembranosus*); scapulae (supraspinatus - *m. supraspinatus* and subcapsular - *m. infraspinatus*); pork loin (the longest back - *m. longissimus dorsi*) obtained from 20 pork half-carasses from individual farmers in the south-eastern region of Poland, weighing ante-mortem from 110 to 120 kg. After the application of the rotating magnetic field, a decrease in the total number of microorganisms was found in comparison to the control sample in all analyzed pork muscles in the individual periods of refrigerated storage. Which means that this treatment extended the durability of all analyzed pork

muscles. Moreover, the application of the rotating magnetic field resulted in the improvement of usually all assessed sensory properties for all analyzed elements of pork in particular periods of refrigerated storage.

Wstęp

Pole magnetyczne jest nietermiczną metodą utrwalania żywności, która w niewielkim stopniu wpływa na obniżenie wartości odżywczej, walorów smakowo-zapachowych czy właściwości funkcjonalnych. W wyniku zastosowania pola magnetycznego można uzyskać finalny produkt spożywczy o wysokiej jakości, aczkolwiek skuteczność metody jest optymalna w połączeniu z innymi niekonwencjonalnymi sposobami utrwalania żywności.

Mechanizm działania pulsacyjnego pola magnetycznego polega na przeniesieniu energii przez paramagnetyczne molekuly do cząsteczki DNA i niszczeniu wiązań chemicznych, w wyniku czego następuje nieodwracalne zniszczenie komórki. Aby ograniczyć nadmierne ogrzewanie się produktu, czas trwania impulsu wynosi od 10 μ s do 1 ms, a częstotliwość maksymalnie 500 MHz. Badania potwierdzają inaktywujące działanie silnego pola magnetycznego w stosunku do wegetatywnych form drobnoustrojów, jednak w odniesieniu do form przetrwalnikujących metoda ta nie jest skuteczna [Oziębłowski i Kopeć 2012].

You i in. [2020] wykorzystali kombinację pulsującego pola elektrycznego i oscylującego pola magnetycznego, aby utrzymać tzw. „przechłodzony” stan mięsa o temperaturze wewnętrznej -4°C przez 14 dni, a próbki mięsa nie zamarały przez cały okres przechowywania. Chociaż wiele badań wykazało, że pole elektromagnetyczne ma oczywisty wpływ na kontrolowanie stanu przechłodzonego mięsa, najczęściej stosowano technologię połączenia pola elektrycznego i pola magnetycznego [Mok i in. 2017], a metoda obróbki była stosunkowo złożona. Tang i in. [2019] stwierdzili, że statyczne pole magnetyczne może być lepsze niż oscylujące pole magnetyczne w obniżaniu temperatury mięsa i utrzymywaniu stanu przechłodzonego.

Metoda nie jest jeszcze w pełni poznana, natomiast na podstawie dotychczasowych badań ocenia się, że zmiany jakości sensorycznej produktów utrwalanych metodą pulsacyjnego pola magnetycznego są niewielkie. Technika także może posłużyć, jako dodatkowa obróbka uprzednio pasteryzowanych i zapakowanych produktów mięsnych znacznie przedłużając przydatności do spożycia. Zaletą jest również niskie zapotrzebowanie na energię.

Celem pracy było zbadanie wpływu zastosowania wirującego pola magnetycznego na właściwości fizykochemiczne, technologiczne, sensoryczne oraz

wartość odżywczą i trwałość mięsa wieprzowego (szynka, łopatką i schab) przechowywanego chłodniczo.

Materiał i metodyka badań

Materiał badawczy stanowiły próby mięśni: szynki (półbloniasty - *m. semimembranosus*); łopatki (nadgrzebieniowy – *m. supraspinatus* i podgrzebieniowy – *m. infraspinatus*); schabu (najdłuższy grzbietu – *m. longissimus dorsi*) pozyskane z półtuszy wieprzowych, pochodzących od rolników indywidualnych z regionu południowo-wschodniej Polski o wadze przedubowej od 110 do 120 kg. Zwierzęta po transporcie przetrzymywano w magazynach żywcą przez około 5 godzin. Uboju dokonano zgodnie z metodyką obowiązującą w przemyśle mięsnym. Przed ubojem zwierzęta poddawano oszłamianiu elektrycznemu. Każdy mięsień dzielono na 6 części, z których 3 stanowiły próbki kontrolne a pozostałe zostały poddane działaniu wirującemu polu magnetycznemu (stymulacja wirującym polem magnetycznym o natężeniu strumienia do 400 A/m wzdłuż płaszczyzny kartezyjskiej X oraz natężeniu strumienia do 400 A/m wzdłuż płaszczyzny kartezyjskiej Y przy częstotliwości zmian indukcji 1000 Hz przy 1/1000 s zmiany okresu sygnału płaszczyznowego). Następnie próby zostały poddane przechowywaniu chłodniczemu (temperatura $3^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) przez okres 1, 7 i 10 dni. Po każdym okresie przechowywania chłodniczego na próbkach kontrolnych oraz po zastosowaniu wirującego pola magnetycznego wykonano:

1. Badanie składu chemicznego (zawartość: białka, tłuszczu, wody, składników mineralnych);
2. Pomiary pH, aktywności wody, siły cięcia, wycieku wymuszonego, wycieku termicznego, potencjału oksydacyjno-redukcyjnego, wskaźnika TBARS, parametrów barwy i tekstury;
3. Analizę sensoryczną (zapach: natężenie i pożądalność, soczystość, kruchość, smak: natężenie i pożądalność);
4. Analizę mikrobiologiczną – ogólną liczbę drobnoustrojów.

Kwasowość czynną (pH) mięsa chłodzonego oznaczono przy użyciu elektrody OSH 12-01 i pehametru CPC-411 (firmy ELMETRON, Zabrze, Polska) z dokładnością do 0,01. Urządzenie kalibrowano w oparciu o bufony o wartościach pH 4,00 i 7,00.

Instrumentalny pomiar barwy w systemie CIE $L^*a^*b^*$ wykonano na przekroju mięsa przy użyciu elektronicznego kolorymetru NR20XE (źródło światła

D65, otwór głowicy pomiarowej 20 mm, kalibracja wzorcem bieli: L^* -99,18, a^* - 0,07, b^* - 0,05). W systemie tym L^* oznacza jasność, która jest wektorem przestrzennym, natomiast a^* i b^* są współrzędnymi trójkromatyczności, gdzie dodatnie wartości a^* odpowiadają barwie czerwonej, ujemne – barwie zielonej, dodatnie b^* - żółtej, ujemne b^* - niebieskiej.

W celu dokonania kolejnych oznaczeń cech fizyko-chemicznych, tj. wycieku termicznego i wymuszonego, próbki mięsa dwukrotnie mielono w wilku laboratoryjnym z zastosowaniem sit o średnicy oczek 4,0 mm. Otrzymaną masę mięsną dokładnie mieszano w celu ujednolicenia próby.

Wielkość wycieku cieplnego określono metodą Janickiego i Walczaka [Walczak 1959]. 20 g próbki rozdrobnionego mięsa, uformowane w kulkę, owinięto w gazę (bandaż), związano drucikiem i umieszczono w wodzie o temperaturze 85°C na 10 minut. Po wyjęciu z wody, usunięciu gazy i chłodzeniu przez 30 minut w temperaturze 4°C próbki mięsa ponownie zważono. Wyciek termiczny obliczono z różnicy mas przed obróbką i po wychłodzeniu wg wzoru:

$$Wc (\%) = \frac{MI - MII}{MI} \cdot 100\%$$

gdzie: Wc – wielkość wycieku cieplnego (%), MI – masa próbki przed obróbką cieplną (g), MI – masa próbki po obróbce cieplnej i po wychłodzeniu (g).

Wyciek wymuszony mięsa oznaczono metodą Grau'a i Hamma [Oeckel i in. 1999] poprzez umieszczenie zmielonej próbki (około 300 mg) na bibule Whatman nr 1. Bibulę wraz z próbką wkładano pomiędzy dwie szklane płytki i poddawano naciskowi 2 kg przez okres 5 minut. Po upływie założonego czasu wyciskania obrysowano na bibule granicę powierzchni, zajmowanej przez próbkę mięsa oraz wycieku soku mięsnego, które następnie planimetrowano. Miara wielkości wycieku wymuszonego soku mięsnego była różnica obu powierzchni, co stanowiło wynik interpretujący wodochłonność (cm²) (większa wartość – mniejsza wodochłonność mięsa).

Silę cięcia mięsa surowego oznaczono przy użyciu szerometru Warnera-Bratzlera. Probki mięsa surowego w kształcie walców, wyciętych korkoborem o średnicy 1,0 cm (wzdłuż włókien mięśniowych), przecinano ostrzem Warnera-Bratzlera z trójkątnym wycięciem i rejestrowano wartość siły potrzebnej do ich przecięcia (N/cm²). Za ostateczny wynik pomiaru każdej próby przyjmowano średnią wartość z trzech kolejnych powtórzeń.

Celem określenia parametrów tekstury badanego mięsa, z każdej partii mięsa wycinano próbki w kształcie sześcianu o boku 20 mm. Instrumentalnie para-

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowywalnictwie żywności

metry tekstury badanych próbek mięsa oznaczono stosując profilową analizę tekstury (TPA – Texture Profile Analysis) wykonaną za pomocą teksturometru Texture Analyser – CT3 – 25 (Brookfield, Wisconsin, USA), z przystawką o kształcie walca o średnicy 38,1 mm i długości 20 mm. Wykonano test 2-krotnego ściskania próbek do 50% ich wysokości. Prędkość przesuwu walca podczas testu wynosiła 2 mm/s, natomiast przerwa między naciskami 2 s. Za pomocą programu Texture Pro CT (Brookfield, Wisconsin, USA) określono następujące parametry tekstury: twardość 1, twardość 2, sztywność do 5 mm, sztywność do 8 mm, adhezyjność, odbojność, kohezyjność, sprężystość, gumistość i żujność. Podczas seryjnych pomiarów wszystkie parametry tekstury liczone były automatycznie.

Potencjał oksydoredukcyjny (EH, mV) mierzono za pomocą elektrody zespolonej typu ERPt-13 i pH/konduktometru Elmetron CPC-501 waterproof. Potencjał elektrody wskaźnikowej odnoszono do potencjału półogniwa odniesienia EODN o schemacie Ag/AgCl, 3 M KCl zastosowanego w elektrodzie ERPt-13 dla temperatury w zakresie 10-20°C.

Ogólną liczbę drobnoustrojów oznaczono zgodnie z PN-EN ISO 4833:2004. Jest to metoda płytkowa polegająca na liczeniu liczby drobnoustrojów wyrosłych na pożywce PCA.

Ilość związków mineralnych wyrażonych jako popiół całkowity oznaczono zgodnie z wytycznymi zawartymi w PN-ISO 936:2000 na analizatorze termogravimetrycznym TGA701 firmy LECO.

Oznaczenia wsk. TBARS dokonano na podstawie wyznaczenia grupy substancji tworzących barwne kompleksy z kwasem 2- tiobarbiturowym, takich jak między innymi, aldehyd malonowy. Oznaczenie polega na wytworzeniu w wysokiej temperaturze barwnych kompleksów obecnych w tłuszczu aldehydów z roztworem kwasu 2-tiobarbiturowego. Intensywność powstałego zabarwienia roztworu produktu mięsnego z kwasem 2-tiobarbiturowym mierzono spektrofotometrycznie przy długości fali 532 nm. Roztworem odniesienia była próba kontrolna [Pikul i in. 1989].

Aktywność wody (a_w) to stosunek częściowego ciśnienia pary wodnej nad badaną próbką do częściowego ciśnienia pary wodnej nad idealnie czystą wodą. Pomiar aktywności wody przeprowadzono na aparacie do pomiaru aktywności wody LabMaster - aw (Novasina). Próbę o masie 5 g umieszczano w naczyniu pomiarowym i zamykano wieczkiem. Wieczko zdejmowano z pojemnika z próbą bezpośrednio przed umieszczeniem w komorze pomiarowej aparatu. Pomiar

wykonywano w temperaturze 20°C. Po zakończeniu pomiaru z wyświetlacza urządzenia odczytywano wartość aktywności wody badanej próby.

Ocenę właściwości sensorycznych mięsa wieprzowego przeprowadzono zgodnie z metodyką podaną przez Baryłko-Pikielną i Matuszewską [2009]. 100g próbki mięsa wieprzowego poddano obróbce termicznej w temperaturze 95°C do uzyskania wewnątrz temperatury $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Temperaturę mierzono wewnątrz za pomocą termometru (Sous Vide Thermapen, MERA, Warszawa, Polska) wyposażonego w sondę igłową. W celu dokonania oceny sensorycznej, próbki poddane obróbce cieplnej schłodzono do temperatury $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ i pokrojono na plastry o grubości 1,5 cm w poprzek włókien mięśniowych. Wszystkie oceniane próby znajdowały się w przykrytych naczynkach plastikowych, oznaczonych indywidualnymi kodami cyfrowymi. Próbkę przeznaczoną do oceny sensorycznej były pobierane w kolejności losowej. Osoby oceniające przeprowadziły ocenę sensoryczną w trzech powtórzeniach. Ocenę jakości sensorycznej mięsa przeprowadzał stały, przeszkolony 6-osobowy zespół laboratoryjny, sprawdzony pod względem wrażliwości i sprawności sensorycznej zgodnie z ISO, 8586-2: [2008] i ISO, 8587: [2006]. Zespół oceniający składał się z 6 osób (50% mężczyzn/kobiet w wieku od 26 do 46 lat). Osoby oceniające posiadały doświadczenie w ocenie mięsa i przetworów mięsnych. Zastosowano 5-punktową ocenę sensoryczną jakości cząstkowej, oceniając następujące wskaźniki jakościowe: intensywność zapachu (1 = bardzo negatywna, bardzo słabo wyczuwalna, 5 = bardzo mocna), intensywność smaku (1 = bardzo negatywna, bardzo słabo wyczuwalna, 5 = bardzo pożądana), pożądanie zapachu (1 = niepożądane, 5 = wysoce pożądanie), pożądanie smaku (1 = niepożądane, 5 = wysoce pożądanie), soczystość (1 = bardzo suche, 5 = bardzo soczyste) i kruchość (1 = bardzo twarde, 5 = bardzo kruche). Ocena właściwości sensorycznych mięsa została przeprowadzona w laboratorium sensorycznym spełniającym wszystkie wymagania odpowiedniej normy [PN-EN ISO 8589, 2010]. Pomiędzy każdym badaniem próbek mięsa, oceniający stosowali 30-sekundową przerwę w celu przepłukania ust wodą mineralną.

Wszystkie oznaczenia i ocenę sensoryczną przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Uzyskane wyniki pogrupowano i poddano obliczeniom statystycznym.

W tabelach 1 - 3 zamieszczono wyniki badań dotyczące składu chemicznego mięsa wieprzowego po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego. Z danych tych wynika, że skład chemiczny poszczególnych mięśni nie zmienił się istotnie po zastosowaniu wirującego pola magnetycznego. Również po przechowywaniu chłodniczym ilości podstawowych składników były na podobnym poziomie. Reasumując należy stwierdzić, że spośród analizowanych elementów mięsa wieprzowego, największą ilość białka (ok. 22 %) oznaczono w schabie, a najniższą zawartość tego składnika (ok. 17 %) określono w łopatce. W łopatce stwierdzono również najwyższą zawartość tłuszczu (ok. 16 %) i najmniejszą ilość wody (ok. 64 %).

W tabelach 4 - 6 zamieszczono wyniki badań właściwości fizykochemicznych, technologicznych i mikrobiologicznych mięsa wieprzowego po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego. Z danych tych wynika, że po zastosowaniu wirującego pola magnetycznego wyższą aktywność wody stwierdzono dla wszystkich elementów mięsa wieprzowego, ale tylko po 1 dniu przechowywania chłodniczego. W pozostałych okresach przechowywania chłodniczego wartości tej cechy kształtowały się na zbliżonych poziomach. Ponadto po zastosowaniu wirującego pola magnetycznego uzyskano niższe wartości siły cięcia dla mięśni schabu we wszystkich okresach przechowywania chłodniczego i podobnie po tym zabiegu obniżyła się wartość tej cechy po jednym dniu przechowywania chłodniczego mięśni szynki. Również po zastosowaniu wirującego pola magnetycznego uzyskano niższe wartości wycieku termicznego dla mięśni łopatki we wszystkich okresach przechowywania chłodniczego i podobnie po tym zabiegu obniżyły się wartości tej cechy po 1 i 7 dniach przechowywania chłodniczego mięśni szynki. Po zastosowaniu wirującego pola magnetycznego zwiększył się udział barwy żółtej w mięśniach schabu we wszystkich okresach przechowywania chłodniczego, natomiast w przypadku szynki i łopatki po tym zabiegu parametr ten nieznacznie obniżał się lub pozostawał na podobnym poziomie. Po zastosowaniu wirującego pola magnetycznego stwierdzono spadek ogólnej liczby drobnoustrojów w porównaniu do próby kontrolnej we wszystkich analizowanych mięśniach wieprzowych w poszczególnych okresach przechowywania chłodniczego.

Tabela 1. Skład chemiczny mięsa szynki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	M	K	M	K	M
Białko (%)	$\bar{x}$	20,58	20,15	20,09	20,10	20,67	20,53
	SD	0,12	1,27	0,31	0,21	0,46	0,85
Tłuszcz (%)	$\bar{x}$	3,90	4,01	4,15	4,17	4,25	4,34
	SD	0,74	0,68	0,64	0,50	0,49	0,30
Woda (%)	$\bar{x}$	72,53	72,16	72,10	72,45	73,13	73,09
	SD	0,59	0,62	0,44	0,38	1,02	0,33
Skl. mineralne (%)	$\bar{x}$	1,52	1,44	1,41	1,42	1,45	1,47
	SD	0,07	0,05	0,04	0,03	0,16	0,13

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; M – wirujące pole magnetyczne

Tabela 2. Skład chemiczny mięsa łopatki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	M	K	M	K	M
Białko (%)	$\bar{x}$	17,39	17,49	17,56	17,51	17,31	17,43
	SD	0,22	0,52	0,62	0,42	0,32	0,12
Tłuszcz (%)	$\bar{x}$	16,87	16,97	16,57	16,37	16,47	16,17
	SD	3,09	1,09	1,12	1,23	1,43	1,65
Woda (%)	$\bar{x}$	64,65	64,35	64,55	64,01	63,55	63,67
	SD	2,56	1,56	2,26	1,26	3,16	1,66
Skl. mineralne (%)	$\bar{x}$	1,08	1,03	1,18	1,03	1,02	1,06
	SD	0,05	0,04	0,01	0,01	0,02	0,05

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; M – wirujące pole magnetyczne

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowywaniu żywności

W tabelach 7 do 9 zamieszczono wyniki badań parametrów tekstury mięsa wieprzowego po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego. Po zastosowaniu wirującego pola magnetycznego jedynie w mięśniach łopatki stwierdzono niższe wartości takich cech, jak: twardość, sztywność, gumistość i żujność we wszystkich okresach przechowywania chłodniczego. Natomiast w mięśniach schabu i szynki wartości tych cech były zazwyczaj zróżnicowane i trudno jest zaobserwować jakąś wyraźną tendencję w kształtowaniu się parametrów tekstury po zastosowanym zabiegu.

W tabelach 10 do 12 zamieszczono wyniki badań właściwości sensorycznych mięsa wieprzowego po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego. Z danych tych wynika, że zastosowanie wirującego pola magnetycznego spowodowało polepszenie zazwyczaj wszystkich ocenianych właściwości sensorycznych dla wszystkich analizowanych elementów mięsa wieprzowego w poszczególnych okresach przechowywania chłodniczego. Jednocześnie należy zaznaczyć, że wraz z czasem przechowywania chłodniczego właściwości sensoryczne poszczególnych mięśni ulegały pogorszeniu.

Tabela 3. Skład chemiczny mięsa schabu po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	M	K	M	K	M
Białko (%)	$\bar{x}$	22,07	22,16	22,24	22,43	22,14	22,17
	SD	0,43	0,13	0,23	0,47	0,45	0,33
Tłuszcz (%)	$\bar{x}$	6,28	6,38	6,18	6,35	6,15	6,37
	SD	1,07	0,07	0,05	0,03	0,06	0,20
Woda (%)	$\bar{x}$	71,45	71,55	71,25	71,35	71,14	71,23
	SD	0,67	0,64	0,57	0,37	0,40	0,76
Skl. mineralne (%)	$\bar{x}$	1,50	1,54	1,51	1,53	1,55	1,51
	SD	0,04	0,01	0,05	0,07	0,08	0,05

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; M – wirujące pole magnetyczne

Tabela 4. Właściwości fizykochemiczne, technologiczne i mikrobiologiczne mięsa szynki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	M	K	M	K	M
pH	$\bar{x}$	5,57	5,54	5,70	5,68	5,70	5,71
	SD	0,02	0,09	0,11	0,16	0,14	0,16
Aktywność wody	$\bar{x}$	0,984	0,992	0,978	0,978	0,982	0,982
	SD	0,005	0,002	0,001	0,001	0,002	0,006
Siła cięcia (N/cm ²)	$\bar{x}$	87,82	81,61	79,98	79,87	63,63	76,38
	SD	16,20	15,97	32,20	16,90	14,36	31,55
Wyciek termiczny (%)	$\bar{x}$	29,11	25,04	25,29	22,99	20,45	21,12
	SD	4,27	3,25	2,71	3,24	0,60	2,56
Wyciek wymuszony (cm ²)	$\bar{x}$	4,32	5,47	4,23	4,18	3,32	3,40
	SD	1,16	0,33	1,18	0,88	0,45	0,23
TBARS (mg MDA/kg)	$\bar{x}$	0,66	0,56	0,59	0,67	0,62	0,60
	SD	0,07	0,03	0,03	0,10	0,09	0,09
Pot. oksydoredukcyjny (mV)	$\bar{x}$	411,63	392,57	410,57	421,90	398,77	392,23
	SD	8,82	17,46	8,51	21,80	24,78	26,15
L*	$\bar{x}$	48,27	51,46	52,53	51,60	45,29	53,08
	SD	2,72	5,91	4,82	4,92	6,38	4,25
a*	$\bar{x}$	14,85	14,13	13,64	12,97	11,59	11,92
	SD	0,89	1,89	0,93	1,13	2,83	1,63
b*	$\bar{x}$	8,21	7,30	9,60	8,84	7,87	10,25
	SD	1,05	0,96	0,83	1,11	0,89	1,75
Ogólna liczba drobnoustrojów (JTK/g)	$\bar{x}$	203 788	200 545	6 303 030	4 304 030	33 257 576	10 757 576

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; M – wirujące pole magnetyczne

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowywalnictwie żywności

Tabela 5. Właściwości fizykochemiczne, technologiczne i mikrobiologiczne mięsa łopatki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	M	K	M	K	M
pH	$\bar{x}$	5,85	5,88	5,98	6,13	5,97	5,96
	SD	0,16	0,09	0,28	0,38	0,24	0,26
Aktywność wody	$\bar{x}$	0,980	0,991	0,980	0,978	0,981	0,982
	SD	0,008	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003
Siła cięcia (N/cm ²)	$\bar{x}$	87,82	102,86	118,11	114,71	182,73	125,63
	SD	6,23	6,67	3,41	4,10	3,89	4,07
Wyciek termiczny (%)	$\bar{x}$	24,76	22,33	20,55	17,23	18,42	17,51
	SD	4,32	3,63	1,24	2,66	1,38	4,61
Wyciek wymuszony (cm ²)	$\bar{x}$	3,47	3,68	2,05	1,34	1,46	1,58
	SD	0,15	0,91	0,03	0,17	0,36	0,25
TBARS (mg MDA/kg)	$\bar{x}$	0,58	0,54	0,58	0,58	0,66	0,66
	SD	0,04	0,05	0,06	0,03	0,05	0,02
Pot. oksydoredukcyjny (mV)	$\bar{x}$	387,07	362,17	394,10	385,90	348,90	348,63
	SD	5,72	9,37	16,99	34,48	23,06	35,29
L*	$\bar{x}$	39,38	41,20	45,73	46,07	44,14	43,12
	SD	4,10	3,60	4,59	4,25	3,60	3,75
a*	$\bar{x}$	17,48	15,98	13,30	14,31	15,61	15,61
	SD	1,64	2,16	1,40	1,07	1,53	1,99
b*	$\bar{x}$	6,31	6,05	9,44	9,19	9,17	9,08
	SD	1,07	0,64	1,21	0,68	0,97	1,09
Ogólna liczba drobnoustrojów (JTK/g)	$\bar{x}$	336 364	203 788	752 273	654 545	59 696 970	44 924 242

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; M – wirujące pole magnetyczne

Tabela 6. Właściwości fizykochemiczne, technologiczne i mikrobiologiczne mięsa schabu po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	M	K	M	K	M
pH	$\bar{x}$	5,48	5,48	5,57	5,58	5,53	5,56
	SD	0,12	0,07	0,06	0,06	0,07	0,03
Aktywność wody	$\bar{x}$	0,983	0,991	0,977	0,978	0,979	0,981
	SD	0,006	0,002	0,002	0,003	0,003	0,001
Siła cięcia (N/cm ²)	$\bar{x}$	93,82	71,26	66,36	65,38	77,04	61,24
	SD	27,86	24,18	19,50	21,88	18,21	16,31
Wyciek termiczny (%)	$\bar{x}$	23,08	24,05	20,49	18,49	20,10	21,67
	SD	3,35	0,50	1,72	1,60	1,49	1,59
Wyciek wymuszony (cm ²)	$\bar{x}$	5,32	4,71	3,81	2,69	3,60	4,03
	SD	0,43	0,76	1,00	0,29	0,90	0,60
TBARS (mg MDA/kg)	$\bar{x}$	0,61	0,58	0,65	0,63	0,59	0,63
	SD	0,02	0,07	0,03	0,02	0,02	0,04
Pot. oksydoredukcyjny (mV)	$\bar{x}$	425,93	398,47	442,13	430,43	409,60	409,10
	SD	17,37	13,29	15,07	8,98	12,83	19,77
L*	$\bar{x}$	58,89	55,59	56,50	57,54	55,43	59,20
	SD	5,58	4,61	5,01	4,13	4,29	3,58
a*	$\bar{x}$	12,38	11,98	9,66	12,27	8,79	10,37
	SD	0,95	0,96	1,71	2,59	1,30	0,77
b*	$\bar{x}$	7,36	7,42	7,81	8,83	8,38	9,61
	SD	1,12	0,83	0,96	0,87	1,73	1,84
Ogólna liczba drobnoustrojów (JTK/g)	$\bar{x}$	169 697	102 273	458 273	400 576	20 681 818	15 757 576

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; M – wirujące pole magnetyczne

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowalnictwie żywności

Tabela 7. Parametry tekstury mięsa szynki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	M	K	M	K	M
Twardość I (N)	$\bar{x}$	141,27	142,95	171,45	171,78	99,82	101,88
	SD	6,30	6,78	8,70	8,15	4,95	4,13
Twardość II (N)	$\bar{x}$	86,63	96,13	120,92	123,97	67,43	75,50
	SD	4,62	4,56	5,31	5,83	3,09	4,96
Sztwywność 5 (N)	$\bar{x}$	25,82	20,73	18,94	21,52	8,41	7,54
	SD	2,46	3,52	2,77	1,10	1,44	1,59
Sztwywność 8 (N)	$\bar{x}$	104,18	89,56	94,88	98,77	47,58	41,96
	SD	8,50	6,41	4,24	5,04	2,17	1,39
Adhezyjność (mJ)	$\bar{x}$	1,09	0,83	1,40	2,89	1,37	1,42
	SD	0,01	0,05	0,01	0,22	0,05	0,08
Kohezja	$\bar{x}$	0,20	0,24	0,24	0,26	0,31	0,35
	SD	0,06	0,04	0,01	0,01	0,05	0,05
Sprężystość (mm)	$\bar{x}$	4,32	4,49	3,65	4,06	4,39	4,42
	SD	0,50	0,50	0,82	0,93	0,39	0,46
Odbojność	$\bar{x}$	0,17	0,20	0,16	0,18	0,20	0,27
	SD	0,05	0,03	0,06	0,02	0,02	0,07
Gumistość (N)	$\bar{x}$	26,43	32,69	41,39	42,72	34,33	38,07
	SD	1,15	1,10	2,58	1,77	2,51	2,27
Żujność (mJ)	$\bar{x}$	114,80	145,10	164,53	182,52	173,76	172,58
	SD	6,28	7,86	8,98	7,38	19,38	23,02

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; M – wirujące pole magnetyczne

Tabela 8. Parametry tekstury mięsa łopatki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	M	K	M	K	M
Twardość I (N)	$\bar{x}$	177,65	103,27	106,12	42,00	170,17	162,30
	SD	7,42	8,35	8,04	7,08	5,25	8,74
Twardość II (N)	$\bar{x}$	111,73	52,22	70,13	22,73	106,86	93,61
	SD	7,76	5,79	5,69	4,21	5,59	6,77
Szytywność 5 (N)	$\bar{x}$	18,56	14,43	6,23	4,80	16,28	13,05
	SD	2,47	5,14	1,48	1,31	1,21	2,81
Szytywność 8 (N)	$\bar{x}$	104,53	59,95	35,56	20,53	104,89	74,01
	SD	5,85	6,67	2,49	1,90	3,41	6,62
Adhezyjność (mJ)	$\bar{x}$	2,32	1,61	3,42	2,24	1,09	1,50
	SD	0,12	0,09	0,22	0,15	0,07	0,16
Kohezja	$\bar{x}$	0,23	0,21	0,30	0,25	0,28	0,29
	SD	0,07	0,06	0,02	0,04	0,07	0,07
Sprężystość (mm)	$\bar{x}$	4,17	3,51	3,64	3,08	4,34	5,21
	SD	0,43	0,23	0,31	0,06	0,98	0,16
Odbojność	$\bar{x}$	0,20	0,16	0,23	0,19	0,17	0,17
	SD	0,06	0,02	0,04	0,09	0,02	0,02
Gumistość (N)	$\bar{x}$	38,91	27,52	37,72	10,78	50,52	48,04
	SD	1,95	2,35	4,89	2,49	4,74	3,61
Żujność (mJ)	$\bar{x}$	165,66	142,18	163,41	38,87	256,91	250,10
	SD	7,34	16,07	13,77	3,02	3,01	27,53

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; M – wirujące pole magnetyczne

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowalnictwie żywności

Tabela 9. Parametry tekstury mięsa schabu po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	M	K	M	K	M
Twardość I (N)	$\bar{x}$	122,76	157,19	178,78	172,91	148,74	134,43
	SD	8,19	7,02	5,08	6,85	5,88	5,33
Twardość II (N)	$\bar{x}$	78,16	106,38	118,01	144,74	103,28	95,95
	SD	8,63	9,84	6,69	6,01	3,41	4,23
Sztynność 5 (N)	$\bar{x}$	23,21	39,59	26,15	43,50	11,11	11,09
	SD	2,99	2,42	1,19	1,74	2,53	1,79
Sztynność 8 (N)	$\bar{x}$	80,11	114,84	127,86	78,81	78,94	68,11
	SD	6,48	5,72	5,41	5,48	4,81	3,22
Adhezyjność (mJ)	$\bar{x}$	1,02	1,77	1,19	2,02	1,90	1,47
	SD	0,03	0,06	0,04	0,36	0,39	0,22
Kohezja	$\bar{x}$	0,24	0,14	0,24	0,26	0,31	0,30
	SD	0,08	0,03	0,09	0,05	0,06	0,09
Sprężystość (mm)	$\bar{x}$	3,97	3,36	4,46	4,65	4,23	4,45
	SD	0,92	0,98	0,58	0,32	0,30	0,58
Odbojność	$\bar{x}$	0,19	0,15	0,13	0,17	0,26	0,23
	SD	0,07	0,07	0,06	0,09	0,06	0,05
Gumistość (N)	$\bar{x}$	28,08	27,15	42,08	44,74	43,73	39,02
	SD	2,00	1,60	2,66	1,38	1,73	2,10
Żujność (mJ)	$\bar{x}$	121,88	100,68	213,20	170,50	185,81	172,93
	SD	8,55	6,94	6,22	8,84	8,92	8,39

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; M – wirujące pole magnetyczne

Tabela 10. Właściwości sensoryczne mięsa szynki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	M	K	M	K	M
Zapach – natężenie (pkt)	$\bar{x}$	3,72	3,89	3,61	3,67	3,50	3,56
	SD	0,57	0,82	0,65	0,79	0,87	0,58
Zapach – pożądalność (pkt)	$\bar{x}$	3,67	3,94	3,39	3,72	2,17	2,60
	SD	0,43	0,46	0,33	0,36	0,29	0,61
Soczystość (pkt)	$\bar{x}$	2,94	3,50	2,44	2,72	2,24	2,32
	SD	0,85	0,66	0,46	0,62	0,36	0,52
Kruchość (pkt)	$\bar{x}$	2,39	2,94	2,56	3,22	2,66	2,82
	SD	1,05	0,68	0,46	0,83	0,36	0,73
Smak – natężenie (pkt)	$\bar{x}$	2,94	3,78	3,33	3,50	3,43	3,50
	SD	0,85	0,75	0,61	0,75	0,31	0,55
Smak – pożądalność (pkt)	$\bar{x}$	3,11	3,72	3,22	3,42	3,12	3,32
	SD	0,78	0,67	0,44	0,79	0,34	0,49

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; M – wirujące pole magnetyczne

Tabela 11. Właściwości sensoryczne mięsa łopatki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	M	K	M	K	M
Zapach – natężenie (pkt)	$\bar{x}$	3,72	4,11	3,72	3,94	3,75	3,87
	SD	0,57	0,70	0,57	0,53	0,76	1,15
Zapach – pożądalność (pkt)	$\bar{x}$	3,94	3,89	3,61	3,56	3,63	3,77
	SD	0,73	0,33	0,74	0,53	0,61	0,29
Soczystość (pkt)	$\bar{x}$	3,28	3,44	3,06	3,33	3,16	3,23
	SD	0,44	0,30	0,58	0,56	0,58	0,56
Kruchość (pkt)	$\bar{x}$	3,50	3,56	3,56	3,89	3,66	3,69
	SD	0,43	0,46	0,85	0,74	0,85	0,74
Smak – natężenie (pkt)	$\bar{x}$	3,72	3,94	3,44	3,50	3,24	3,30
	SD	0,36	0,39	0,63	0,61	0,63	0,61
Smak – pożądalność (pkt)	$\bar{x}$	3,78	3,83	3,44	3,00	3,24	3,30
	SD	0,36	0,35	0,53	0,25	0,53	0,25

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; M – wirujące pole magnetyczne

Tabela 12. Właściwości sensoryczne mięsa schabu po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu wirującego pola magnetycznego

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	M	K	M	K	M
Zapach – natężenie (pkt)	$\bar{x}$	4,06	3,72	3,61	3,72	2,92	3,28
	SD	0,68	0,57	0,33	0,62	0,80	1,09
Zapach – pożądalność (pkt)	$\bar{x}$	4,18	3,72	3,33	3,44	3,22	3,31
	SD	0,69	0,87	0,35	0,30	0,58	0,60
Soczystość (pkt)	$\bar{x}$	2,94	2,92	2,67	2,72	2,47	2,52
	SD	0,68	0,57	0,75	0,67	0,65	0,47
Kruchość (pkt)	$\bar{x}$	3,50	3,61	3,28	3,78	3,18	3,22
	SD	0,43	0,74	0,51	0,67	0,31	0,34
Smak – natężenie (pkt)	$\bar{x}$	3,50	3,67	3,17	3,67	3,07	3,09
	SD	0,66	0,35	0,50	0,43	0,40	0,33
Smak – pożądalność (pkt)	$\bar{x}$	3,56	3,72	3,22	3,44	3,12	3,14
	SD	0,46	0,44	0,62	0,46	0,58	0,56

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; M – wirujące pole magnetyczne

Wnioski

Po zastosowaniu wirującego pola magnetycznego stwierdzono spadek ogólnej liczby drobnoustrojów w porównaniu do próby kontrolnej we wszystkich analizowanych mięśniach wieprzowych w poszczególnych okresach przechowywania chłodniczego. Co oznacza, że zabieg ten przedłużył trwałość wszystkich analizowanych mięśni wieprzowych. Ponadto zastosowanie wirującego pola magnetycznego spowodowało polepszenie zazwyczaj wszystkich ocenianych właściwości sensorycznych dla wszystkich analizowanych elementów mięsa wieprzowego w poszczególnych okresach przechowywania chłodniczego. Jednocześnie należy zaznaczyć, że wraz z czasem przechowywania chłodniczego właściwości sensoryczne poszczególnych mięśni ulegały pogorszeniu.

Literatura

1. Barylko-Pikielna, N., Matuszewska, I. 2009. Sensory Testing of Food. Basics—Methods—Application (in Polish). Wrocław: Publishing: Polish Society of Food Technologists, Poland.

2. ISO 8586-2. 2008. Sensory Analysis. General Guidance for the Selection, Training and Monitoring of Assessors.
3. ISO 8587. 2006. Sensory Analysis. Methodology, International Organization for Standardization (ISO).
4. Mok J.H., Her J.Y., Kang T., Hoptowit R., Jun S. 2017. Effects of pulsed electric field (PEF) and oscillating magnetic field (OMF) combination technology on the extension of supercooling for chicken breasts. *Journal of Food Engineering*, 196, pp. 27-35, 10.1016/j.jfoodeng.2016.10.002.
5. Oeckel M. J. Van., Warnants N., Boucquee Ch. V. 1999. Comparison of different methods for measuring water holding capacity and juiciness of pork versus online screening methods. *Meat Sci.*, 51, 313-320.
6. Oziemblowski M., Kopeć W. 2012. Pulsed electric Fields (PEF) as an unconventional method of food preservation. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 14 (55). 31-35.
7. Pikul J., Leszczyński D. E., Kummerow F. A. 1989. Evaluation of three modified TBA methods for measuring lipid oxidation in chicken meat. *J. Agric. Food Chem.* 37: 1309 — 1313.
8. PN-EN ISO 4833.2004. Mikrobiologia żywności i pasz - Horyzontalna metoda oznaczania liczby drobnoustrojów -- Metoda płytkowa w temperaturze 30 stopni C.
9. PN-EN ISO 8589. 2010. General Guidelines for the Design of a Sensory Analysis Laboratory.
10. PN-ISO 936.2000. Mięso i przetwory mięsne - Oznaczanie popiołu całkowitego.
11. Tang J.Y., Shao S.Q., Tian C.Q. 2019. Effects of the magnetic field on the freezing parameters of the pork. *International Journal of Refrigeration*, 107, pp. 31-38, 10.1016/j.ijrefrig.2019.07.019
12. Walczak Z. 1959. Laboratoryjna metoda oznaczania zawartości galarety w konserwach mięsnych. *Roczniki Nauk Rolniczych* 74-B-4, 619.
13. You Y., Her J.-Y., Shafel T., Kang T., Jun S. 2020. Supercooling preservation on quality of beef steak. *Journal of Food Engineering*, 274, p. 109840, 10.1016/j.jfoodeng.2019.109840.

- Publikacja opracowana w ramach operacji pn. „*Badania i opracowanie technologii produkcji mięsa wieprzowego w kierunku wydłużenia trwałości przechowalniczej, a także zachowania właściwości odżywczych, prozdrowotnych oraz przetwórczo-użytkowych tego surowca i jego produktów*” przez Uniwersytet Rzeszowski, współfinansowana jest ze środków Unii Europejskiej w ramach PROW 2014-2020.

- Instytucja Zarządzająca PROW 2014-2020 – Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi.
