

Effect of using poultry controlled atmosphere stunning (CAS) and electrical stunning (ES) on selected meat quality characteristics

Ocena wpływu stosowania mieszaniny gazów (CAS) i kąpeli elektrycznej (ES) do głuszenia drobiu kurzego na wybrane wyróżniki jakości mięsa



DOI: 10.15199/62.2026.6.2

Chicken meat from the same farm was stunned using a $CO_2 + O_2$ gas mixt. (CAS) or an electric bath (ES). Three spot samples were taken from each of 10 chicken fillets and subjected to textural anal. using TPA (texture profile anal.). Differences in texture results obtained between the first and second cycles reflected organoleptic concepts such as gumminess (N), hardness (N), and chewiness (mJ) in numerical form. Differences in meat hardness between the first and second cycles were greater for the group of samples from chickens stunned using the CAS gas-based method. Samples of poultry meat from CAS-stunned birds also exhibited, on av., higher values of gumminess, elasticity, and chewiness.

Keywords: poultry meat quality, slaughter, texture profile analysis, $CO_2 + O_2$ gas stunning, electrical stunning (ES), meat texture

Przedstawiono wyniki oceny wyróżników jakościowych tekstury mięsa drobiu kurzego pochodzącego z tej samej fermi drobiu i głuszonego 2 różnymi metodami: w osnowie gazowej $CO_2 + O_2$ (CAS) i w kąpeli elektrycznej (ES). Z 10 filetów drobiowych pobrano 3 wycinki punktowe i poddano je badaniu teksturometrycznemu, wykorzystując test TPA (texture profile analysis). Różnice w wynikach tekstury otrzymanych pomiędzy 1. a 2. cyklem pomiarowym stanowiły odzwierciedlenie organoleptycznych pojęć, takich jak gumistość (N), twardość (N), i żujność (mJ) w formie liczbowej. Różnice w twardości mięsa pomiędzy 1. a 2. cyklem były większe dla grupy próbek z mięsa kur głuszonych w osnowie gazowej CAS. Statystyczna analiza wyników nie wskazała jednak na istotną różnicę twardości mięsa w 1. i 2. cyklu. Próbkę mięsa drobiu głuszonego metodą CAS odznaczały się też średnio większymi wartościami gumistości, sprężystości i żujności.

Słowa kluczowe: jakość mięsa drobiowego, ubój, analiza teksturometryczna, głuszenie gazowe $CO_2 + O_2$, kąpiel elektryczna (ES), tekstura mięsa

Produkcja mięsa drobiowego należy do najszybciej rozwijających się segmentów światowego sektora żywnościowego. Według FAO¹⁾ globalna produkcja mięsa drobiowego osiągnęła 151,4–152,4 Tg, co potwierdza jego pozycję jako najczęściej produkowanego białka zwierzęcego na świecie²⁾. Wiodącymi producentami pozostają Stany Zjednoczone, Brazylia oraz Chiny, przy czym kraje te odpowiadają za znaczną część globalnej podaży, a dynamiczny wzrost eksportu odnotowują obecnie Chiny³⁾. W Unii Europejskiej pro-

dukcja drobiu wykazuje silny trend wzrostowy. W 2024 r. wyniosła ona rekordowe 14,1 Tg, co stanowiło wzrost o 6% w stosunku do roku poprzedniego⁴⁾ (tabela 1). Polska niezmiennie utrzymuje pozycję lidera w UE, odpowiadając za ok. 20,5% unijnej produkcji. W 2024 r. polska produkcja osiągnęła poziom 2,9–3,0 Tg lub nawet 3,5 Tg, uwzględniając pełen asortyment branżowy⁴⁻⁵⁾. Stabilny rozwój sektora w Polsce odzwierciedla wysoką efektywność, postępującą koncentrację zakładów przetwórczych oraz dominującą rolę



Dr inż. Łukasz BIŁOS (ORCID: 0000-0003-2623-5935) w roku 2005 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej. W 2012 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na tym samym wydziale. Jest adiunktem w Katedrze Biosystemów Zdrowia i Jakości Żywności PO. Specjalność – inżynieria mechaniczna.



Dr hab. inż. Dominika MATUSZEK (ORCID 0000-0002-5200-1561) w roku 2007 uzyskała stopień doktora nauk technicznych na Politechnice Opolskiej, a w 2018 r. stopień doktora habilitowanego na Wydziale Zarządzania Środowiskiem i Rolnictwa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Wykształcenie w zakresie dietetyki klinicznej zdobyła w PWSZ w Nysie. Obecnie jest profesorem uczelni i kierowniczką Katedry Biosystemów Zdrowia i Jakości Żywności na Politechnice Opolskiej. Prowadzi badania w dziedzinie inżynierii mechanicznej. Specjalność – analiza wybranych parametrów procesów/urządzeń na poszczególnych etapach produkcji żywności oraz jakości surowców i produktów spożywczych.

Table 1. Global poultry meat production in 2023–2024 (FAO 2024, USDA 2024), Tg

Tabela 1. Światowa produkcja mięsa drobiowego w latach 2023–2024 (FAO 2024, USDA 2024), Tg

Kraj	2023	2024 (szacunkowo)
USA ¹⁾	21,3	21,6
Brazylia ³⁾	14,9	15,2
Chiny ¹⁾	14,3	14,4
UE ⁴⁾	11,0	11,1
Rosja ¹⁾	4,9	5,0
Meksyk ¹⁾	4,05	4,10
Turcja ¹⁾	2,52	2,58
Argentyna ¹⁾	2,33	2,35
Kolumbia ¹⁾	1,94	1,98

Table 2. Industrial poultry production in Poland in plants employing ≥ 50 people (GUS, KRD-IG, Eurostat)

Tabela 2. Przemysłowa produkcja drobiu w Polsce w zakładach zatrudniających ≥ 50 osób (GUS, KRD-IG, Eurostat)

Rok	Produkcja, Gg
2019 ⁶⁾	2746
2020 ⁶⁾	2941
2021 ⁶⁾	2940
2022 ⁷⁾	2940
2023 ⁴⁾	3085
2024 ⁷⁾	ok. 3120 (szacunkowo)

kraju jako 3. największego eksportera drobiu na świecie⁵⁾ (tabela 2).

Równolegle do wzrostu wolumenu produkcji obserwuje się zwiększone zainteresowanie jakością mięsa oraz metodami uboju pozwalającymi minimalizować stres ptaków. Jak podkreślono w literaturze^{8, 9)}, stres przed ubojem (*pre-slaughter stress*) wpływa na wiele parametrów mięsa, takich jak tekstura, barwa, wyciek oraz cechy sensoryczne. Załadunek, transport, obsługa ptaków oraz sama metoda ogłuszania mogą prowadzić do zaburzeń metabolizmu mięśni i występowania defektów PSE (*pale, soft, exudative*) lub DFD (*dark, firm, dry*). Tradycyjnie dominującą metodą ogłuszania drobiu pozostaje kąpiel elektryczna (ES), wykorzystywana w ok. 80% europejskich zakładów¹⁰⁾. Metoda ta jest wydajna technologicznie, lecz budzi liczne kontrowersje dobrostanowe, głównie z powodu konieczności zawieszania ptaków na hakach w pełnej świadomości, ryzyka

przedwczesnych porażen oraz trudności w zapewnieniu jednakowego przepływu prądu w populacji o zróżnicowanej masie ciała^{11, 12)}. Alternatywą są systemy ogłuszania w kontrolowanej atmosferze CAS (*controlled atmosphere stunning*), wykorzystujące mieszaniny gazów, m.in. CO₂ + O₂, CO₂ + N₂ lub CO₂ + Ar. CAS eliminuje konieczność zawieszania świadomych ptaków i pozwala na jednolitą ekspozycję wszystkich osobników na czynnik ogłuszający, co stanowi znaczną korzyść dobrostanową^{11, 13)}.

McKeegan i współpracownicy¹⁴⁾ wykazali, że CAS zmniejsza częstość złamań skrzydeł oraz krwotoków mięśni piersiowych w porównaniu z ES, zaś Fernandez i współpracownicy¹⁵⁾ potwierdzili korzystny wpływ CAS na jakość tusz kaczek i gęsi. Badania Shalginbayeva¹⁶⁾ nie wykazały istotnych różnic w barwie i aromacie mięsa przy zastosowaniu różnych atmosfer gazowych, co sugeruje, że pod pewnymi względami różne metody ogłuszania mogą prowadzić do podobnej jakości mięsa.

Najbardziej aktualne badania z lat 2023–2025 umożliwiają bardziej precyzyjną ocenę wpływu składu mieszanin gazowych stosowanych w systemach CAS na dobrostan ptaków oraz jakość mięsa brojlerów. Szczególne znaczenie przypisuje się mieszaninom CO₂ + N₂ oraz CO₂ + Ar, które w porównaniu z wysokimi stężeniami CO₂ mogą ograniczać intensywność dyskomfortu oddechowego i reakcje awersyjne^{17, 18)}. Riggs i współpracownicy¹⁹⁾ wykazali, że różnice w jakości technologicznej mięsa pomiędzy ogłuszaniem elektrycznym (ES) a CAS są niewielkie, przy czym system CAS wiązał się z mniejszą częstością urazów skrzydeł. Analiza różnicowej ekspresji genów z wykorzystaniem sekwencjonowania RNA (RNA-seq) przeprowadzona przez Ham i współpracownicy²⁰⁾ wykazała odmienne profile aktywacji szlaków stresowych w mięśniach brojlerów ogłuszanych metodami ES i CAS. Rozwój metod komputerowych do automatycznej oceny skuteczności ogłuszenia, opartych na algorytmach uczenia maszynowego²¹⁾, może zostać włączony do systemów nadzoru dobrostanowego.

Znaczenie metody ogłuszania podkreślane jest również w obszarze prawa. Podstawowym aktem regulującym tę kwestię pozostaje rozporządzenie WE²²⁾, zaś w 2023 r. opublikowano projekt jego kompleksowej aktualizacji²³⁾, zakładający m.in. wzmocnienie nadzoru nad skutecznością ogłuszania, ujednoczenie kontroli oraz dostosowanie wymogów do najnowszej wiedzy naukowej. Projekt ten kładzie szczególny nacisk na systemy CAS jako technolo-



Dr Żaneta GRZYWACZ (ORCID: 0000-0001-6278-6924) w roku 2016 uzyskała stopień doktora w dyscyplinie inżynieria rolnicza w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie. Obecnie jest adiunktem w Katedrze Biosystemów Zdrowia i Jakości Żywności na Politechnice Opolskiej. Specjalność – interdyscyplinarne zagadnienia łączące naukę o zdrowiu oraz jakość i bezpieczeństwo żywności, ze szczególnym uwzględnieniem oceny jakości surowców, ich bezpieczeństwa oraz znaczenia żywienia i dietoterapii w profilaktyce i wspomaganiu terapii chorób cywilizacyjnych.



Dr inż. Ewa POLAŃCZYK (ORCID: 0000-0002-1194-7043) w roku 2008 ukończyła studia na Wydziale Rolniczym Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. W 2018 r. uzyskała stopień doktora w zakresie inżynierii rolniczej, specjalność inżynieria produkcji roślinnej, na Wydziale Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. W 2022 r. ukończyła studia podyplomowe „Psychodietetyka”. Obecnie jest adiunktem w Katedrze Biosystemów Zdrowia i Jakości Żywności na Politechnice Opolskiej. Specjalność – technologia żywności, nauka o zarządzaniu i jakości oraz psychodietetyka, ze szczególnym uwzględnieniem psychospołecznych aspektów wyborów żywieniowych i kształtowania nawyków żywieniowych.

Table 3. Parameters of the CAS method with CO₂ + O₂Tabela 3. Parametry zastosowanej metody CAS w osłonie gazowej CO₂ + O₂

Komora głużenia	Wsad	Uzyskane stężenie CO ₂ w I etapie procesu, %	Czas trwania I etapu, s	Uzyskane stężenie CO ₂ w II etapie procesu, %	Czas trwania II etapu, s	Uzyskane stężenie CO ₂ w III etapie procesu, %	Czas trwania III etapu, s	Uzyskane stężenie CO ₂ w IV etapie procesu, %	Czas trwania IV etapu, s	Uzyskane stężenie CO ₂ w V etapie procesu, %	Czas trwania V etapu, s
1	1	18	60	28	60	33	60	38	60	65,3	120
	2	18	60	28	60	33	60	38	60	66,2	120
2	3	18	60	28	60	33	60	38	60	63,9	120
	4	18	60	28,4	60	33	60	38	60	63,3	120
	5	18	60	28	60	33	60	38	60	63,8	120

gie o większym potencjale dobrostanowym. W badaniach Dolik i współpr.²⁴⁾ wykazano, że istnieje korelacja pomiędzy pomiarami instrumentalnymi z wykorzystaniem urządzeń inżynierii mechanicznej (teksturometrii) i analizą organoleptyczną mięsa.

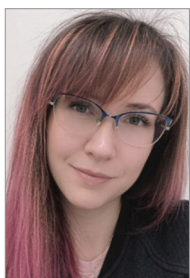
Część doświadczalna

Materiały

Materiałem badawczym były filety drobiu głużonego w osnowie gazowej CO₂ + O₂ (tabela 3) oraz za pomocą metody elektrycznej o częstotliwości prądu 400 Hz, napięciu 23 V i natężeniu 1,92 A. Badany materiał otrzymano z tego samego zakładu przetwórstwa drobiu, o tej samej porze i z tej samej fermy produkcyjnej. Otrzymane filety niezwłocznie przewieziono do laboratorium w pojemniku z izolacją termiczną.

Metodyka badań

W badaniach wykorzystano jeden z uniwersalnych testów produktów spożywczych wykonywanych za pomocą teksturometrów – test TPA (*texture profile analysis*), który polegał na wykonaniu 2 cykli kompresji próbki sondą, której powierzchnia była mniejsza od powierzchni badanej próbki. Różnice w wynikach wyróżników tekstury, uzyskanych pomiędzy pierwszym a drugim cyklem, są odzwierciedleniem organoleptycznych pojęć, takich jak gumiałość, sprężystość i żujność, w formie liczbowej. Największe znaczenie w pomiarach tekstury mięsa ma kruchość i twardość.



Mgr Justyna JAŚNIEWICZ (ORCID: 0009-0008-1249-5107) w roku 2008 ukończyła studia na Wydziale Chemii (obecnie Wydział Chemii i Farmacji) Uniwersytetu Opolskiego, specjalność agrobiochemia. Obecnie jest asystentem w Katedrze Biosystemów Zdrowia i Jakości Żywności tej samej uczelni. Jej obszar badawczy związany jest w z badaniem oraz oceną bezpieczeństwa i jakości żywności. Specjalność – nauki o zdrowiu.

* Adres do korespondencji:

Katedra Biosystemów Zdrowia i Jakości Żywności, Wydział Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii, Politechnika Opolska, ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole, e-mail: j.jasniewicz@po.edu.pl

Table 4. TPA test parameters

Tabela 4. Parametry testu TPA

Parametr	Wartość
Czas rekonwalescencji, s	3
Prędkość testowa, mm/s	2
Sonda	TA41
Liczba cykli	2
Obciążenie spustowe, N	0,05

W trakcie wykonywania każdego z cykli pomiarowych parametry te podlegały zapisowi. Parametry siłowe (twardość, gumiałość, kruchość), pierwotnie zarejestrowane przez oprogramowanie urządzenia jako gramy siły (gf), zostały przeliczone na niutony (N) zgodnie z międzynarodowym układem jednostek miar SI. Z każdego fileta drobiowego wycięto standaryzowanym wykrojnikiem kawałek mięsa, jednocześnie z 3 jednakowo rozmieszczonych punktów. Próbkę o wymiarach 0,04 × 0,04 m i wysokości 0,02 m²⁵⁾ do badania teksturometrycznego pobierano w tym samym czasie z próby „gazowej” oraz „elektrycznej” w taki sposób, aby kolejna próbka w tej samej konfiguracji była oznaczona bez wpływu czasu na teksturę mięsa. Po wykrojeniu próbki natychmiast poddawano badaniu tekstury, aby zminimalizować wpływ czasu na wyniki badania. Liczba filetów mięsnych dla jednej i drugiej metody głużenia wynosiła 10 sztuk, spośród których pobrano 3 wycinki punktowe (próbki) z każdego fileta, powielając miejsce poboru. Badanie teksturometryczne wykonano teksturometrem Brookfield CT3-10. Parametry testu zestawiono w tabeli 4. Każda próbka była poddana identycznemu działaniu sondy kompresyjnej teksturometru zgodnie z rys. 1. Wyniki oznaczenia twardości, gumiałości i żujności poddano statystycznej analizie porównawczej przy wykorzystaniu testu U Manna i Whitneya na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki badań i ich omówienie

Z analizy otrzymanych wyników, przedstawionych graficznie na rys. 2, wynika, że różnice w twardości mięsa pomiędzy 1. a 2. cyklem były większe dla grupy próbek pobranych z mięsa kur głużonych metodą CAS w osnowie

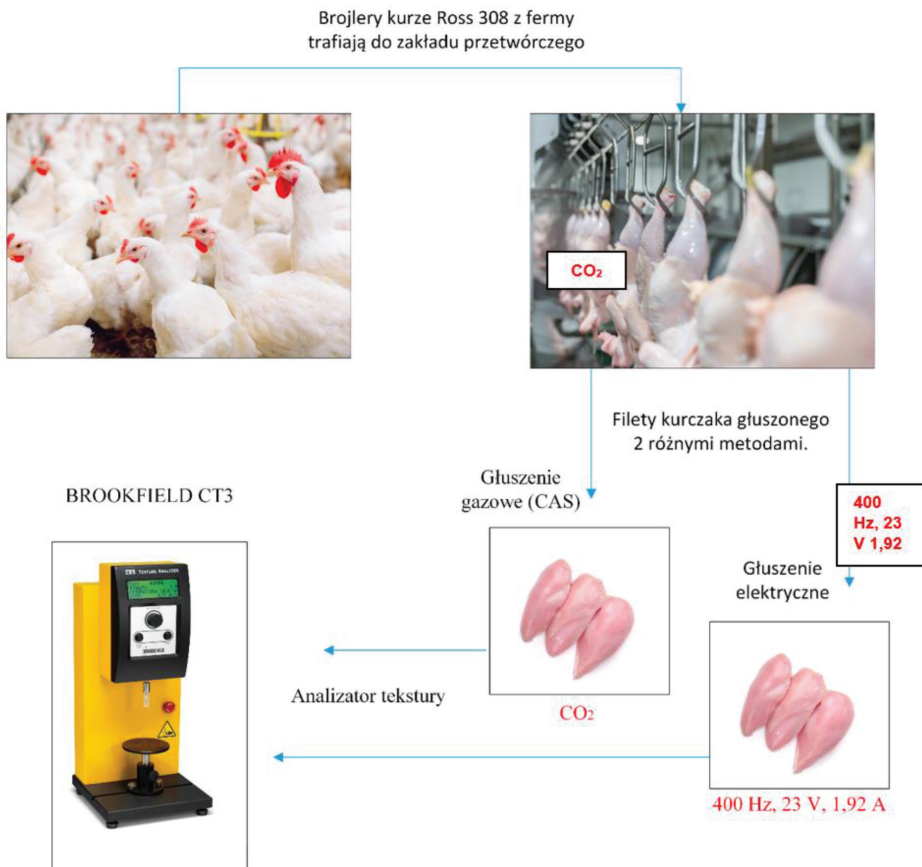


Fig. 1. Research procedure

Rys. 1. Procedura prowadzenia badań

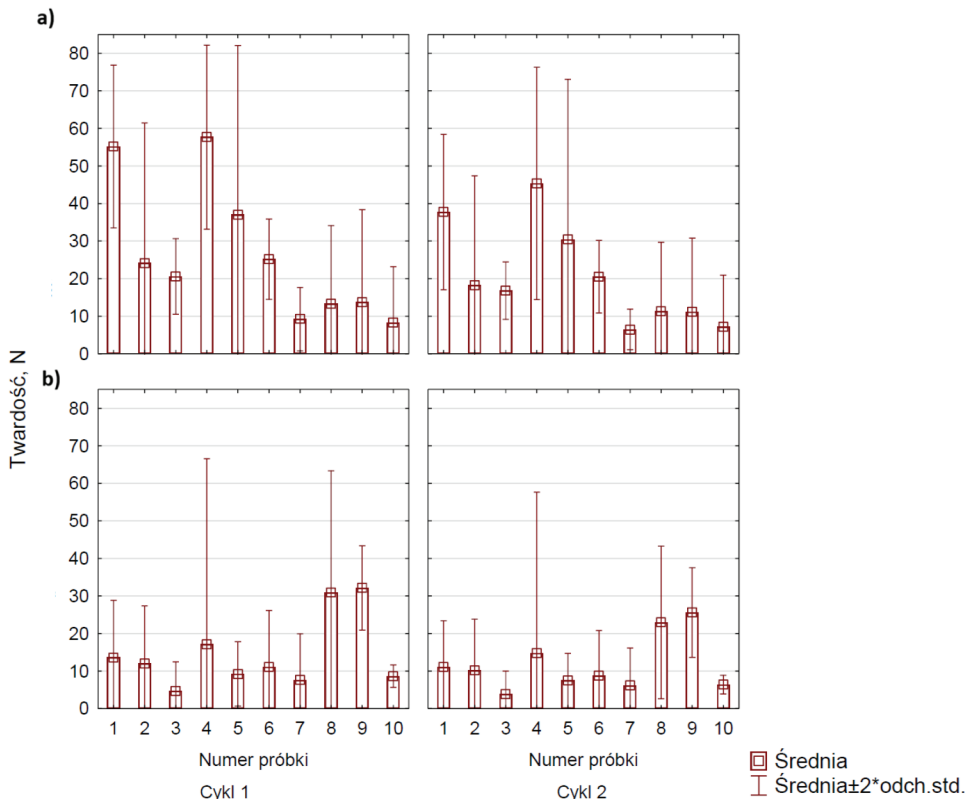


Fig. 2. Graphical interpretation of changes in sample hardness during two compression cycles as a function of the poultry stunning method used: a) atmosphere stunning, b) electrical stunning

Rys. 2. Interpretacja graficzna zmiany twardości próbek podczas dwóch cykli kompresji w zależności od zastosowanej metody głuszenia drobiu: a) osnowa gazowa, b) kąpiel elektryczna

CO₂. Oznacza to, że mięso było bardziej miękkie w porównaniu z niewielkimi zmianami występującymi między 1. a 2. cyklem dla próbek mięsa pochodzącego z brojlerów głuszonych w kąpeli elektrycznej. Statystyczna analiza wyników nie wskazała jednak na istotną różnicę twardości mięsa w 1. i 2. cyklu zarówno dla próbek z głuszenia w kąpeli elektrycznej, jak i metodą CAS.

Próbki mięsa drobiu głuszonego metodą CAS odznaczały się średnio większymi wartościami parametrów gumistości, sprężystości i żujności, czyli siła ich wiązań wewnętrznych była większa, co przedstawiono na rys. 3 i 4. Dla parametrów tych uzyskano statystycznie istotną różnicę. Zjawisko to może odnosić się do występowania miejscowej hipoksjii w mięśniach²⁶⁾, aby jednak to potwierdzić należy przeprowadzić dodatkowe badania w tym kierunku.

Interpretacją liczbową twardości mięsa był gradient oporu stawianego zagłębiającej się w mięso sondzie w 1. i 2. cyklu penetracji. Różnica wskazań między 1. a 2. cyklem wynikała z pewnych zmian zmęczenia po 1. penetracji. Definicja sensoryczna wskazania, to odzwierciedlenie maksymalnej siły potrzebnej podczas ściskania próbki w 2. cyklu. Odzwierciedleniem energii potrzebnej do przezwyciężenia sił twardości i zwartości próbki była gumistość, której wyznaczenie umożliwiło poznanie sił kohezji rejestrowanych w trakcie testu TPA. Parametr gumistości był odzwierciedleniem mocy wiązań wewnętrznych w próbce. Energia potrzebna do przekształcenia mechanicznego próbki w formę umożliwiającą połknięcie mogła być interpretowana jako żujność i przedstawiona liczbowo przy dodatkowej rejestracji sprężystości próbki w trakcie testu TPA. W tym przypadku odzwiercied-

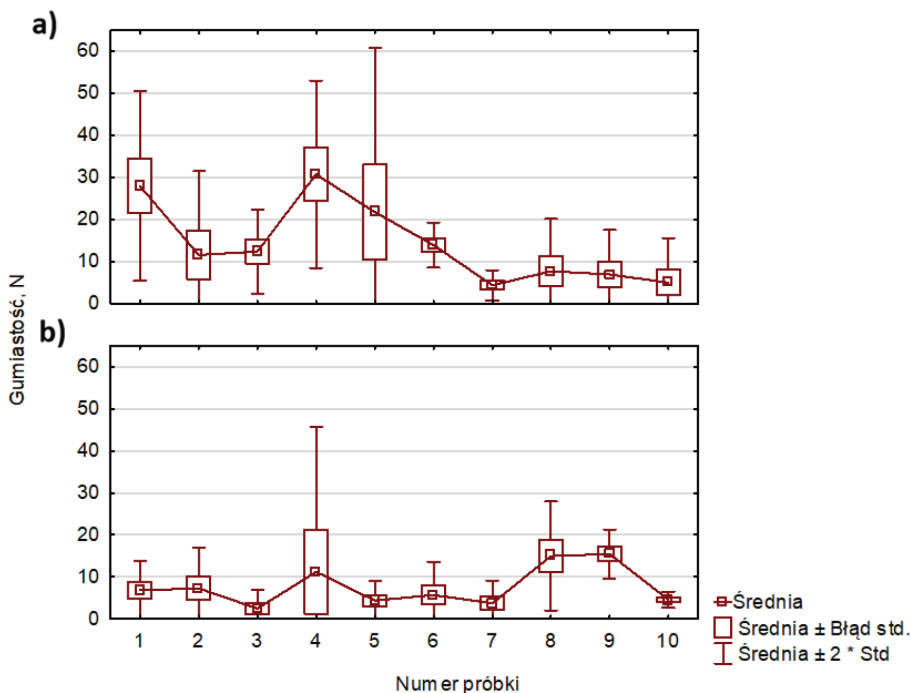


Fig. 3. Graphical interpretation of changes in sample gumminess as a function of the poultry stunning method used: a) atmosphere stunning, b) electrical stunning

Rys. 3. Interpretacja graficzna zmiany gumiastości próbek w zależności od zastosowanej metody głuszenia drobiu: a) osnowa gazowa, b) kąpiel elektryczna

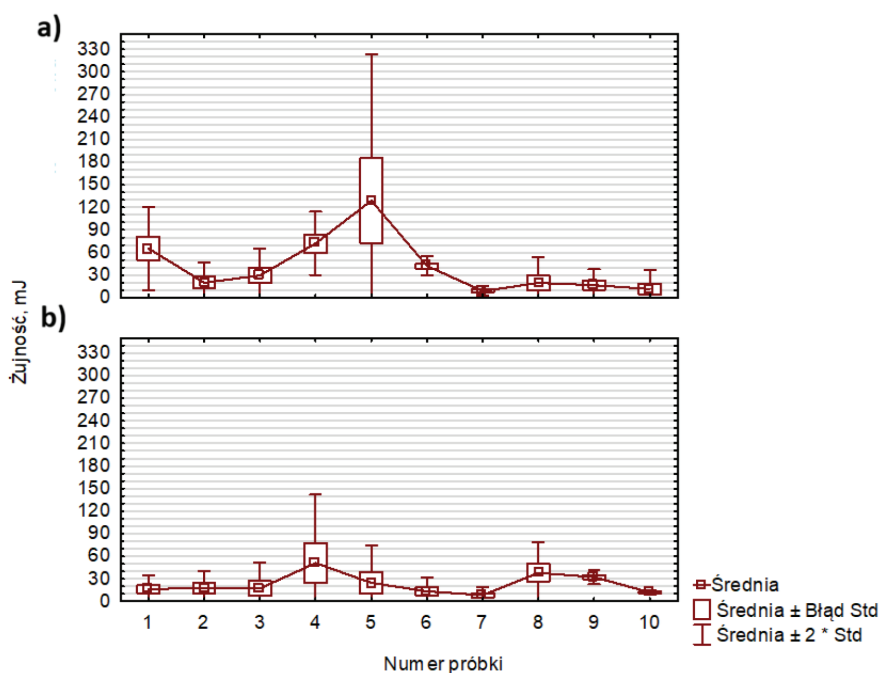


Fig. 4. Graphical interpretation of changes in sample chewability as a function of the poultry stunning method used: a) atmosphere stunning, b) electrical stunning

Rys. 4. Interpretacja graficzna zmiany żujności próbek w zależności od zastosowanej metody głuszenia drobiu: a) osnowa gazowa, b) kąpiel elektryczna

dleniem był pomiar wysokości, jaką próbka odzyskała między 1. a 2. cyklem kompresji, wyznaczanej poprzez pomiar dystansu w 2. cyklu ruchu sondy. Na rys. 3 i 4 przedstawiono odpowiednio gumiastość i żujność próbek mięsa drobiu w zależności od metody głuszenia. Fernandez i współpr.¹⁵⁾ zwrócili uwagę, że stosowanie metody CAS

ma przede wszystkim korzystny wpływ na wady wyglądu tusz mięsa kaczek i gęsi, wypadając korzystniej w porównaniu z metodą głuszenia w kąpeli elektrycznej. Jednak wg autorów przypadki dotyczące różnic we właściwościach sensorycznych są niewielkie. Zastosowane metody wg autorów nie miały wpływu na teksturę mięsa ocenianą instrumentalnie. Uzyskane przez Shalginbayeva i współpr.¹⁶⁾ wyniki wskazują, że próbki uzyskane z drobiu głuszonego metodą gazową również nie wykazały istotnych różnic w jakości cech barwnych i aromatycznych mięsa. Autorzy uważają, że pod względem analizowanych cech porównanie wpływu metod ogłuszania na jakość mięsa dowodzi, że obie metody są skuteczne i przyczyniają się do produkcji mięsa doskonałej jakości.

McKeegan i współpr.¹⁴⁾ w swoich badaniach zauważyli wpływ składu zastosowanej mieszanki gazowej w metodzie CAS na jakość tusz i mięsa brojlerów. Stwierdzili, że metoda CAS z wykorzystaniem mieszanki $CO_2 + O_2$ jest korzystniejsza w porównaniu z układem $Ar + CO_2$. Autorzy zaobserwowali znaczące zmniejszenie liczby złamanych skrzydeł, które wynosiło 1,6% dla metody $CAS_{(CO_2+O_2)}$ w stosunku do 6,8% dla metody $CAS_{(Ar + CO_2)}$, oraz mniejszą liczbę krwotoków fileta. Badanie to potwierdziło zalety dwufazowego ogłuszania hiperkarpicznego (z podwyższonym stężeniem ditlenku węgla) połączonego z hiperoksygenacją (zapewnieniem wysokiego poziomu tlenu). Podejście to pozwala na stopniowe wprowadzanie ptaków w stan narkozy gazowej przy jednoczesnym zapobieganiu ankosji (duszności) dzięki obecności tlenu, co znacząco poprawia dobrostan i końcową jakość mięsa. Riggsi współpr.¹⁹⁾ również badali jakość mięsa kurcząt po zastosowaniu linii technologicznych CAS

i ES. Jakość mięsa z filetów z piersi wykazywała znaczące, ale niewielkie różnice w odkostnieniu między brojlerami ogłuszonymi ES lub CAS. Kolor, pH i wyciek nie różniły się po 24 h od odkostnienia, co wskazuje na akceptowalną dla konsumentów jakość fileta z piersi przy zastosowaniu któregośkolwiek z systemów ogłuszania.

Odnosząc się do przedstawionych publikacji, można zauważyć, że uzyskiwane korzyści zastosowania metody CAS $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ w odniesieniu do metody głużenia elektrycznego są istotne statystycznie. W ramach przeprowadzonych badań zestawiono ze sobą 2 systemy uboju drobiu: tradycyjne oształmianie w kąpieli wodnej (parametry prądu: 400 Hz, 23 V, 1,92 A) oraz dwuetapowe usypianie gazowe (CAS, z wykorzystaniem mieszaniny CO_2 i O_2). Porównania dokonano poprzez instrumentalny pomiar kluczowych cech reologicznych mięsa, takich jak twardość, sprężystość, gumiaistość oraz żujność. Uzyskane wyniki wskazują, że pod kątem profilu tekstury klasyczna metoda elektryczna wypada nieznacznie lepiej. Rozpatrując samą twardość, mięso z uboju gazowego stawiało nieco większy opór początkowy. Zauważono w nim również silniejsze zmniejszenie siły nacisku podczas 2. kompresji, co może świadczyć o większej podatności tkanki biologicznej na zmęczenie mechaniczne. Niemniej jednak, z punktu widzenia analizy statystycznej, nie wykazano znamiennych różnic w bezwzględnej twardości między porównywanymi metodami głużenia, jak również między 1. a 2. cyklem pomiarowym. Wyraźne i potwierdzone statystycznie kontrasty uwidoczniły się natomiast w spójności strukturalnej mięśni. Filety drobiowe pochodzące z systemu CAS charakteryzowały się wyraźnie większą gumiaistością oraz w konsekwencji większą sprężystością. Taka budowa tkanki powoduje, że jej mechaniczne rozdrobnienie, imitujące proces naturalnego ludzkiego żucia, wymagało użycia znacznie większego nakładu energii w porównaniu z mięsem ptaków oształmianych elektrycznie. Podwyższona zwięzłość surowca po uboju gazowym może być skutkiem występowania zjawiska niedotlenienia tkankowego, jednak weryfikacja tej hipotezy wymaga zaplanowania dodatkowych badań. Ze względu na mocniejsze wiązania wewnętrzne i większy opór przy rozdrabnianiu mięsa z systemu CAS, to standardowe rażenie prądem wydaje się korzystniejsze dla uzyskania delikatniejszego surowca, pozbawionego nadmiernie „gumowatej” struktury. Trzeba zaznaczyć, że system CAS niesie za sobą bezdyskusyjne zalety w kontekście dobrostanu ptaków. Procedura ogranicza cierpienie i stres przedubojowy ptaków, a ponadto pozwala na eliminację fizycznych wad poubojowych, takich jak krwawe wybroczyny w tkance mięśniowej i złamania skrzydeł.

Podsumowanie

Badania porównawcze mięsa kurcząt ogłuszanych metodą elektryczną (ES) oraz w kontrolowanej atmosferze $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ (CAS) nie wykazały istotnych różnic statystycznych w twardości mięsa między 1. a 2. cyklem kompresji. Jednakże oceniając pozostałe przyjęte wyróżniki jakości tkanki, stwierdzono istotnie większe wartości gumiaistości i żujności w surowcu pochodzącym od ptaków usypianych metodą CAS. Z tego względu w przypadku instrumentalnego oznaczenia tekstury całościowe wyniki przemawiają na korzyść konwencjonalnej kąpieli elektrycznej, która

pozwała uzyskać surowiec o nieco delikatniejszej strukturze. Różnice te wydają się jednak stosunkowo niewielkie. Należy przy tym pamiętać, że zastąpienie oceny organoleptycznej badaniem aparaturowym nie jest metodą bezwzględnie doskonałą i zawsze należy brać pod uwagę niepewność takich pomiarów. Podsumowując, chociaż metoda CAS nie poprawia badanych mechanicznych parametrów tekstury mięsa w stosunku do ogłuszania elektrycznego, stanowi ona alternatywę technologiczną ze względu na związane z nią potencjalne korzyści dla dobrostanu zwierząt.

Otrzymano: 09-04-2026

Zrecenzowano: 22-04-2026

Zaakceptowano: 22-05-2026

Opublikowano: 18-06-2026

LITERATURA

- [1] FAO, *Meat Market Rev.: Overview Global Market Dev.* 2024, April 2025, **23**.
- [2] <https://avinews.com/en/global-poultry-meat-output-to-hit-151-4m-tons-in-2025/>.
- [3] USDA, *Livestock and poultry. World markets and trade*, Foreign Agricultural Service, 2026, https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf.
- [4] Eurostat 2024, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agricultural_production_-_livestock_and_meat.
- [5] Trade.gov.pl, *Polska potęgą mięsną – eksport drobiu siłą napędową branży. Raport rynkowy*, 2025, <https://www.trade.gov.pl/aktualnosci/polska-potega-miesna-eksport-drobiu-sila-napedowa-branzy/>.
- [6] GUS, *Produkcja zwierzęca – dane roczne*, Warszawa 2024, https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/produkcja-zwierzeza-zwierzeta-gospodarskie/?utm_source.
- [7] KR-D-IG, *Raport branży drobiarskiej*, 2024, https://krd-ig.com.pl/raporty/?utm_source.
- [8] N.A. Mir, A. Rafiq, F. Kumar, V. Singh, V. Shukla, *J. Food Sci. Technol.* 2017, **54**, nr 10, 2997, doi: 10.1007/s13197-017-2789-z.
- [9] E.M.C. Terlouw, B. Picard, V. Deiss i in., *Foods* 2021, **10**, 84, doi: 10.3390/foods10010084.
- [10] J. Kasprzak, *Inż. Apar. Chem.* 2015, nr 5, 251.
- [11] C. Berg, M. Raj, *Animals* 2015, **5**, 1207, doi: 10.3390/ani5040407.
- [12] Ż. Zdanowska-Sąsiadek, M. Michalczyk, M. Marcinkowska-Lesiak, K. Damaziak, *Żywność. Nauka. Technol. Jakość* 2013, **46**, 344.
- [13] A. Fuseini, M. Miele, J. Lever, *Poultry* 2023, **2**, 98, doi: 10.3390/poultry2010010.
- [14] D.E.F. McKeegan, J.A. McIntyre, T.G.M. Demmers i in., *Anim. Welf.* 2007, **16**, 40.
- [15] X. Fernandez, E. Lahirigoyen, A. Auvergne, C. Molette, M. Bouillier-Oudot, *Animal* 2010, **4**, 128, doi: 10.1017/S1751731109990851.
- [16] D.B. Shalginbayev, R.U. Uazhanova, L.V. Antipova, T.A. Baibatyrov, *JOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2020, **994**, 012015, doi: 10.1088/1757-899X/994/1/012015.
- [17] D.S. Rucinke, A. Velarde, A. Xercavins i in., *Animals* 2024, **14**, 486, doi: 10.3390/ani14030486.
- [18] S.S. Nielsen, J. Alvarez, D.J. Bicot i in., *EFSA J.* 2024, **22**, doi: 10.2903/j.efsa.2024.8855.
- [19] M.R. Riggs, R. Hauck, B.I. Baker-Cook i in., *Poult. Sci.* 2023, **102**, 102422, doi: 10.1016/j.psj.2022.102422.
- [20] C.H. Ham, J.H. Jeon, S.H. Lee i in., *Poult. Sci.* 2025, **104**, 105764, doi: 10.1016/j.psj.2025.105764.
- [21] C.W. Ye, Z.W. Yu, R. Kang i in., *Comput. Electron. Agric.* 2020, **170**, 105284, doi: 10.1016/j.compag.2020.105284.
- [22] Rozporządzenie Rady (WE) nr 1099/2009, z dnia 24 września 2009 r. w sprawie ochrony zwierząt podczas ich uśmiercania, *Dz.U. UE*. L.2009.303.1.
- [23] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie ochrony zwierząt podczas transportu i związanych z tym działań, zmieniające rozporządzenie Rady (WE) nr 1255/97 i uchylające rozporządzenie Rady (WE) nr 1/2005, Wniosek z dnia 7.12.2023, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52023PC0770>, dostęp 26.02.2026 r.
- [24] K. Dolik, M.S. Kubiak, *Nauk. Inż. Technol.* 2013, **3**, nr 10, 35, <https://www.dbc.wroc.pl/dlibra/doccontent?id=24408>.
- [25] J. Diakon, K. Dolik, M. Seńcio, D. Tomkiewicz, *Pomiar. Autom. Kontr.* 2012, **58**, 5.
- [26] G. Maiorano, *Rocz. Nauk. Pol. Tow. Zootech.* 2017, **13**, 43, doi: 10.5604/01.3001.0010.5454.