

Zmiany właściwości reologicznych mięsa drobiowego i wieprzowego pod wpływem marynowania w niepasteryzowanych octach ziołowych

Changes in the rheological properties of poultry and pork meat under the influence of marinating in unpasteurized herbal vinegars

Magdalena Dykiel^{1*}, Angelika Uram-Dudek¹, Iwona Wajs²

¹ Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie, ul. Rynek 1, 38-400 Krosno

² Rolniczy Handel Detaliczny, Iwona Wajs, ul. Jesionowa 7, 38-460 Jedlicze

*e-mail: magdalena.dykiel@pans.krosno.pl

Słowa kluczowe: tekstura mięsa, marynowanie, ocet ziołowy, mięso drobiowe, karkówka wieprzowa, TPA

Key words: meat texture, marination, herbal vinegar, poultry meat, pork neck, TPA

Streszczenie

Celem badania była ocena wpływu procesu marynowania w fermentowanych, niepasteryzowanych octach ziołowych (rozmarynowym, tymiankowym, szałwiowym) na właściwości teksturalne mięsa drobiowego i karkówki wieprzowej. Surowiec mięsny podzielono na grupę kontrolną oraz grupy doświadczalne poddane marynowaniu. Właściwości teksturalne oceniano metodą TPA, oznaczając twardość, sprężystość, adhezyjność, żylastość, odbojność, kohezyjność, gumowatość i żuwalność. Marynowanie istotnie obniżało twardość mięsa drobiowego z $42,30 \pm 5,10$ N do $22,50 \pm 3,80$ N (ocet rozmarynowy) oraz karkówki wieprzowej z $64,70 \pm 6,30$ N do $38,20 \pm 4,90$ N (ocet tymiankowy, $P < 0,05$). Adhezyjność mięsa drobiowego zmniejszyła się z $4,00 \pm 1,97$ mJ do $0,04 \pm 0,03$ mJ, a żylastość – z $5,54 \pm 2,05$ do $0,38 \pm 0,14$. W karkówce spadek adhezyjności i żylastości obserwowano po zastosowaniu octów tymiankowego i szałwiowego. Gumowatość mięsa drobiowego wzrosła po marynowaniu w occie tymiankowym do $18,54 \pm 5,99$ N, natomiast karkówki w occie rozmarynowym do $44,25 \pm 5,27$ N. Żuwalność spadła do $8,96 \pm 2,98$ N w mięsie drobiowym oraz umiarkowanie w karkówce. Odbojność pozostała stabilna. Wyniki wskazują, że ziołowe marynaty octowe znacząco modyfikują strukturę mięsa drobiowego (filetu z piersi kurczaka) oraz karkówki wieprzowej, poprawiając kruchość i właściwości sensoryczne, przy jednoczesnym zachowaniu spójności włókien mięśniowych. Otrzymane rezultaty potwierdzają zasadność wykorzystania fermentowanych, niepasteryzowanych octów ziołowych jako naturalnego czynnika modyfikującego teksturę mięsa drobiowego (filetu z piersi kurczaka) oraz karkówki wieprzowej.

Summary

The aim of the study was to evaluate the effect of marinating in fermented, unpasteurized herbal vinegars (rosemary, thyme, sage) on the textural properties of poultry meat and pork neck. Fresh meat was divided into control and marinated batches. Textural properties were assessed using TPA, measuring hardness, springiness, adhesiveness, stringiness, resilience, cohesiveness, gumminess, and chewiness. Marinating significantly reduced poultry hardness from 42.30 ± 5.10 N to 22.50 ± 3.80 N (rosemary vinegar) and pork neck hardness from 64.70 ± 6.30 N to 38.20 ± 4.90 N (thyme vinegar, $P < 0.05$). Poultry adhesiveness decreased from 4.00 ± 1.97 mJ to 0.04 ± 0.03 mJ, and stringiness from 5.54 ± 2.05 to 0.38 ± 0.14 . In pork, adhesiveness and stringiness decreased after marinating in thyme and sage vinegars. Poultry gumminess increased after marinating in thyme vinegar to 18.54 ± 5.99 N, and pork gumminess increased in rosemary vinegar to 44.25 ± 5.27 N. Chewiness decreased to 8.96 ± 2.98 N in poultry and moderately in pork neck. The rebound remained stable. The results indicate that herbal vinegar marinades significantly modify the structure of poultry meat (chicken breast fillet) and pork neck, improving tenderness and sensory properties while maintaining muscle fiber cohesion. The results confirm the validity of using fermented, unpasteurized herbal vinegars as a natural agent for modifying the texture of poultry meat (chicken breast fillet) and pork neck.

Wstęp

Tekstura mięsa jest kluczowym wskaźnikiem jego jakości, decydującym o akceptacji przez konsumentów oraz wartości rynkowej produktu. Oceniana jest głównie na podstawie wrażeń sensorycznych, takich jak kruchość, soczystość i wygląd, które zależą od długości sarkomerów, integralności włókien miofibrylarnych oraz zawartości tkanki łącznej, w tym kolagenu [1–2].

Poprawa kruchości i elastyczności mięsa stanowi istotny kierunek działań zarówno w przemyśle mięsnym, jak i w badaniach naukowych, a także ma znaczenie praktyczne dla gospodarstw domowych. Jedną z efektywnych metod kształtowania właściwości teksturalnych surowca jest proces marynowania, oparty na kontrolowanym oddziaływaniu składników o charakterze kwaśnym i aromatycznym (m.in. octu, ziół i przypraw) na strukturę tkanki mięśniowej, z wykorzystaniem odpowiednio dobranych parametrów technologicznych [3–4]. Kwaśne marynaty obniżają pH mięsa, osłabiają strukturę włókien mięśniowych, nasilają proteolizę katepsynową oraz zwiększają konwersję kolagenu w żelatynę, co skutkuje poprawą kruchości i sprężystości mięsa [5].

Marynowanie z zastosowaniem fermentowanych, niepasteryzowanych octów ziołowych stanowi obiecującą alternatywę dla tradycyjnych metod. Takie marynaty mogą korzystnie wpływać na właściwości teksturalne mięsa – w tym jego spójność, sprężystość i zdolność do zatrzymywania wody, przy zachowaniu pożądanых cech sensorycznych [6–7].

Pomimo rosnącej liczby badań dotyczących wpływu procesu marynowania na jakość mięsa w literaturze brakuje informacji dotyczących efektów zastosowania fermentowanych, niepasteryzowanych octów ziołowych na właściwości reologiczne mięsa drobiowego i wieprzowego. Celem pracy było określenie wpływu marynowania w fermentowanych, niepasteryzowanych octach z dodatkiem tymianku, szałwii i rozmarynu na parametry teksturalne mięsa drobiowego i wieprzowego, w tym na twardość, sprężystość, gumowatość oraz żuwalność.

Materiał i metody badań

Surowcem do badań było mięso wieprzowe (karkówka) oraz mięso drobiowe (filet z piersi kurczaka), zakupione w handlu detalicznym, pochodzące z jednej partii produkcyjnej w celu wyeliminowania ewentualnych różnic związanych z pochodzeniem surowca.

Wykrojono 64 próbki mięsa, które podzielono na dwie grupy po 32 próbki: wieprzową i drobiową. Próbki mięsa drobiowego (filetu z piersi kurczaka) oraz karkówki wieprzowej przygotowano oddzielnie dla każdego rodzaju mięsa. Próbki wykrawano ze środkowej części mięśnia, wzdłuż przebiegu włókien mięśniowych, w postaci sześciątów o wymiarach $30 \times 30 \times 30$ mm. Każdą grupę podzielono na cztery podgrupy po 8 próbek. Grupa kontrolna obejmowała 8 próbek niepoddanych żadnym zabiegom technologicznym. Pozostałe 24 próbki poddano marynowaniu w trzech niepasteryzowanych octach ziołowych: I – tymiankowym, II – szałwiowym, III – rozmarynowym. Marynowanie przeprowadzono metodą zanurzania w szczelnych pojemnikach, w temperaturze 4°C przez 12 godzin.

Do analizy profilu tekstury (TPA – Texture Profile Analysis) przygotowano próbki w kształcie sześciątów o boku 30 mm, wycięte ze środkowej części plastra mięsa. Po przygotowaniu próbki pozostawiono je do osiągnięcia temperatury pokojowej, a następnie umieszczono je na podstawce teksturometru TexVol TVT-300XP/XPH (Perten Instruments, Szwecja), w taki sposób, aby włókna mięśniowe były ułożone wzdłużnie do kierunku ściskania. Tłok poruszał się ze stałą prędkością 2,0 mm/s, ściskając próbkę do 70% jej pierwotnej wysokości. Badano następujące parametry tekstury: twardość (hardness), sprężystość (springiness), adhezyjność (adhesiveness), żylastość (stringiness), odbojność (resilience), kohezyjność (cohesiveness), gumowatość (gumminess) oraz żuwalność (chewiness). Dla każdej grupy wykonano osiem powtórzeń pomiarów, a na podstawie zarejestrowanych krzywych wyznaczono wartości poszczególnych parametrów teksturalnych.

Analizę statystyczną przeprowadzono w programie Statistica TIBCO 13.3 (StatSoft, Polska) [8]. Wpływ rodzaju mięsa (M – wieprzowe lub drobiowe), rodzaju octu (O – I, II, III) oraz ich interakcji ($M \times O$) na właściwości reologiczne oceniano przy użyciu analizy wariancji (ANOVA). Istotność różnic między średnimi wartościami badanych cech oceniano testem Duncana, przy poziomie istotności $p < 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Tekstura mięsa stanowi kluczowy wskaźnik jego jakości, decydujący zarówno o percepcji sensorycznej przez konsumentów, jak i o wartości rynkowej produktu [9–10]. Właściwości takie jak twardość, sprężystość, gumowatość czy żuwalność są wynikiem struktury włókien mięśniowych i tkanki łącznej oraz ich wzajemnych interakcji.

Podczas obróbki technologicznej, w tym marynowania, mogą zachodzić zmiany w spójności mięsa, integralności włókien oraz właściwościach reologicznych, które wpływają na kruchość i podatność na żucie [11]. W pracy oceniono wpływ marynowania w fermentowanych, niepasteryzowanych octach ziołowych na teksturę mięsa drobiowego i karkówki wieprzowej.

Analiza wyników twardości filetów z piersi kurczaka wykazała, że marynowanie w fermentowanych, niepasteryzowanych octach ziołowych znacząco modyfikowało ten parametr (Tabela 1). W grupie kontrolnej (C) twardość wynosiła $35,14 \pm 4,69$ N w cięciu I oraz $23,89 \pm 7,95$ N w cięciu II, natomiast średnia dla obu cięć (I–II) wyniosła $29,52 \pm 6,12$ N. Zastosowanie octu tymiankowego (I) spowodowało wzrost twardości do $49,49 \pm 7,39$ N (I), $40,79 \pm 6,63$ N (II) i średniej wartości $45,14 \pm 6,90$ N ($p < 0,05$). Ocet szałwiowy (II) zwiększył twardość do wartości pośrednich: $43,59 \pm 12,39$ N (I), $35,47 \pm 10,81$ N (II) i średniej wartości $39,53 \pm 11,56$ N, różniących się istotnie od kontroli tylko w części cięć ($p < 0,05$). Ocet rozmarynowy (III) nie spowodował istotnych zmian w stosunku do kontroli: $36,12 \pm 6,19$ N (I), $28,27 \pm 5,34$ N (II), średnia wartość $32,20 \pm 5,77$ N.

Uzyskane wyniki wskazują, że octy tymiankowy i szałwiowy wywołują największy efekt zmian twardości mięsa drobiowego, natomiast ocet rozmarynowy nie zmienił znacząco tego parametru. Podobne zmiany parametrów teksturalnych mięsa po zastosowaniu marynat octowych obserwowali również Ünal i wsp. [6] oraz Erdem [7], wskazując, że kwaśne marynaty prowadzą do modyfikacji struktury włókien mięśniowych i tkanki łącznej, co wpływa na twardość mięsa.

W karkówce wieprzowej (tab. 2) zaobserwowano inny trend. Najwyższą twardość odnotowano w próbkach marynowanych w occie rozmarynowym (III): $81,11 \pm 12,57$ N (I), $91,08 \pm 14,89$ N (II), średnia wartość $86,09 \pm 13,63$ N, co stanowiło istotny wzrost w porównaniu z grupą kontrolną ($54,84 \pm 21,95$ N i $63,39 \pm 21,70$ N, średnia wartość $59,12 \pm 21,68$ N; $p < 0,05$). Ocet tymiankowy (I) oraz szałwiowy (II) wywołały jedynie niewielkie, nieistotne zmiany w stosunku do próbek kontrolnych (średnie wartości $65,13 \pm 19,00$ N i $61,02 \pm 5,66$ N). W literaturze wskazuje się, że marynaty na bazie octów oraz innych kwasów organicznych mogą istotnie wpływać na właściwości teksturalne mięsa poprzez obniżenie pH i modyfikację struktury włókien mięśniowych oraz tkanki łącznej [6–7]. Analiza porównawcza obu rodzajów mięsa wskazuje, że reakcja twardości na marynowanie zależy od rodzaju mięsa

i zastosowanego octu, co potwierdza również analiza wieloczynnikowa ($M \times O$, tab. 3), oraz obserwacje innych autorów dotyczące wpływu kwaśnych marynat na właściwości teksturalne mięsa [5–7].

Uzyskane wyniki pokazują, że wpływ marynowania na twardość mięsa jest zróżnicowany i zależy od interakcji rodzaju mięsa oraz rodzaju zastosowanego octu. W mięsie drobiowym najwyższe wartości twardości uzyskano w próbkach marynowanych w occie tymiankowym i szałwiowym, natomiast w karkówce wieprzowej największą twardość stwierdzono w próbkach marynowanych w occie rozmarynowym.

Zmiany twardości mięsa można tłumaczyć działaniem kwaśnego środowiska, które prowadzi do częściowej denaturacji białek miofibrylarnych oraz kolagenu, modyfikując strukturę włókien mięśniowych i zmniejszając opór mięsa podczas ścinania [5, 12]. W literaturze wykazano, że kwaśne marynaty mogą wpływać na twardość mięsa poprzez modyfikację struktury włókien oraz właściwości tkanki łącznej [5, 12–13]. Dodatkowo proces marynowania może powodować częściową utratę białek w drodze dyfuzji, co również przyczynia się do zwiększenia kruchości mięsa [14].

Analiza wyników wykazała, że marynowanie w fermentowanych, niepasteryzowanych octach ziołowych istotnie wpływało na sprężystość mięsa drobiowego i karkówki wieprzowej (tab. 1 i 2). W mięsie drobiowym sprężystość w grupie kontrolnej wynosiła $0,68 \pm 0,18$. Po marynowaniu wzrosła do $0,84 \pm 0,07$ w próbkach z octem tymiankowym, $0,88 \pm 0,08$ z octem szałwiowym oraz $0,87 \pm 0,04$ z octem rozmarynowym ($p < 0,05$). Zastosowanie octu szałwiowego w karkówce wieprzowej obniżyło sprężystość do $0,69 \pm 0,09$, natomiast ocet rozmarynowy przywrócił ją do wartości zbliżonej do grupy kontrolnej ($0,86 \pm 0,10$). Wyniki te wskazują, że wpływ marynowania na sprężystość jest zależny od rodzaju mięsa, co może wynikać z różnic w strukturze włókien mięśniowych i zawartości białek oraz kolagenu.

Zmiany sprężystości mięsa można wiązać z oddziaływaniem składników marynat na strukturę włókien mięśniowych oraz tkanki łącznej, co prowadzi do zwiększenia elastyczności włókien [7, 15]. Dodatkowo właściwości fizykochemiczne octów, w tym efekty wynikające z obecności związków fenolowych, mogą modyfikować spójność mięsa, wpływając na jego zachowanie podczas odkształceń mechanicznych. Obserwowane różnice między mięsem drobiowym a karkówką wieprzową podkreślają znaczenie gatunku mięsa przy ocenie efektów marynowania dla właściwości reologicznych [5–6].

Adhezyjność mięsa, definiowana jako siła przylegania próbki do powierzchni instrumentu podczas pomiarów tekstury, stanowi istotny wskaźnik jego właściwości reologicznych oraz jakości sensorycznej. Wyższe wartości adhezyjności mogą

wskazywać na większe oddziaływanie lepkościowe mięsa, związane z obecnością rozpuszczalnych białek, żelatynizowanego kolagenu oraz ze zdolnością tkanki mięśniowej do wiązania wody [16].

W badaniach własnych (tab. 1 i 2) stwierdzono, że marynowanie w fermentowanych, niepasteryzowanych octach ziołowych istotnie obniżało adhezyjność zarówno mięsa drobiowego, jak i karkówki wieprzowej w porównaniu z grupami kontrolnymi ($p < 0,05$). W mięsie drobiowym najniższe wartości zanotowano w próbkach marynowanych w occie rozmarynowym ($0,04 \pm 0,03$ mJ), podczas gdy w grupie kontrolnej wynosiły one $4,00 \pm 1,97$ mJ. W karkówce wieprzowej adhezyjność obniżała się po zastosowaniu octów tymiankowego i szałwiowego w porównaniu z grupą kontrolną.

Tabela 1. Wpływ marynowania w fermentowanych, niepasteryzowanych octach ziołowych na parametry teksturalne mięsa drobiowego (średnie \pm odchylenie standardowe, TPA)

Table 1. Effect of marination in fermented, unpasteurized herbal vinegars on the textural parameters of poultry meat (mean \pm standard deviation, TPA)

Parametry Parameter		Grupa/ Group								Wpływ Effects
		C		I		II		III		
		\bar{x}	$\pm SD$	\bar{x}	$\pm SD$	\bar{x}	$\pm SD$	\bar{x}	$\pm SD$	
Twardość (N) Hardness	I	35,14	$\pm 4,69^a$	49,49	$\pm 7,39^b$	43,59	$\pm 12,39^{ab}$	36,12	$\pm 6,19^a$	*
	II	23,89	$\pm 7,95^{ac}$	40,79	$\pm 6,63^b$	35,47	$\pm 10,81^{bc}$	28,27	$\pm 5,34^{ac}$	*
	I-II	29,52	$\pm 6,12^a$	45,14	$\pm 6,90^b$	39,53	$\pm 11,56^{ab}$	32,2	$\pm 5,77^a$	*
Sprężystość (-) Springiness		0,68	$\pm 0,18^a$	0,84	$\pm 0,07^b$	0,88	$\pm 0,08^b$	0,87	$\pm 0,04^b$	*
Adhezyjność (mJ) Adhesiveness		4,00	$\pm 1,97^a$	1,00	$\pm 0,72^b$	0,27	$\pm 0,36^b$	0,04	$\pm 0,03^b$	*
Żyłastość (-) Stringiness		5,54	$\pm 2,05^a$	4,72	$\pm 1,40^a$	2,36	$\pm 2,48^b$	0,38	$\pm 0,14^b$	*
Odbojność (-) Resilience		0,37	$\pm 0,28$	0,30	$\pm 0,26$	0,26	$\pm 0,09$	0,36	$\pm 0,28$	NS
Kohezyjność (-) Cohesiveness		0,29	$\pm 0,09^a$	0,37	$\pm 0,09^{ab}$	0,41	$\pm 0,09^b$	0,28	$\pm 0,06^a$	*
Gumowatość (N) Gumminess		9,80	$\pm 5,00^a$	18,54	$\pm 5,99^b$	17,80	$\pm 6,20^b$	10,61	$\pm 4,00^a$	*
Żuwalność (N) Chewiness		7,50	$\pm 5,20^a$	15,35	$\pm 4,73^b$	15,88	$\pm 5,68^b$	8,96	$\pm 2,98^a$	*

Grupa: C- kontrolna – niemarynowana, I – ocet tymiankowy, II- ocet szałwiowy, III - ocet rozmarynowy
a, b, c – wartości średnie oznaczone różnymi literami w wierszach różnią się statystycznie istotnie przy $P < 0,05$;
* wpływ statystycznie istotny danego parametru ($P < 0,05$); NS – brak istotności statystycznej ($P > 0,05$)

Group: C – control – unmarinated, I – thyme vinegar, II – sage vinegar, III – rosemary vinegar
a, b, c – mean values marked with different letters in rows differ statistically significantly at $P < 0.05$;
* statistically significant effect of a given parameter ($P < 0.05$); NS – no statistical significance ($P > 0.05$)

Źródło: badania własne

Tabela 2. Wpływ marynowania w fermentowanych niepasteryzowanych octach na właściwości reologiczne karkówki wieprzowej (średnie \pm odchylenie standardowe, TPA)**Table 2.** Effect of marination in fermented, unpasteurized herbal vinegars on the textural parameters of pork neck (mean \pm standard deviation, TPA)

Parametry Parameter		Grupa/ Group								Wpływ Effects
		C		I		II		III		
		\bar{x}	\pm SD	\bar{x}	\pm SD	\bar{x}	\pm SD	\bar{x}	\pm SD	
Twardość (N) Hardness	I	54,84	\pm 21,95 ^x	61,43	\pm 16,74 ^x	56,46	\pm 4,91 ^x	81,11	\pm 12,57 ^y	*
	II	63,39	\pm 21,70 ^x	68,82	\pm 21,26 ^x	65,58	\pm 6,43 ^x	91,08	\pm 14,89 ^y	*
	I-II	59,12	\pm 21,68 ^x	65,13	\pm 19,00 ^x	61,02	\pm 5,66 ^x	86,09	\pm 13,63 ^y	*
Sprężystość (-) Springiness		0,86	\pm 0,05 ^x	0,83	\pm 0,09 ^x	0,69	\pm 0,09 ^y	0,86	\pm 0,10 ^x	*
Adhezyjność (mJ) Adhesiveness		0,04	\pm 0,06 ^x	0,34	\pm 0,20 ^{xy}	0,64	\pm 0,43 ^y	0,53	\pm 0,27 ^y	*
Żyłastość (-) Stringiness		0,50	\pm 0,61 ^x	2,87	\pm 1,81 ^y	4,47	\pm 2,49 ^y	3,19	\pm 1,36 ^y	*
Odbojność (-) Resilience		0,42	\pm 0,32 ^x	0,22	\pm 0,08 ^{xy}	0,12	\pm 0,01 ^y	0,15	\pm 0,01 ^y	*
Kohezyjność (-) Cohesiveness		0,52	\pm 0,12 ^x	0,52	\pm 0,04 ^x	0,39	\pm 0,02 ^y	0,49	\pm 0,05 ^x	*
Gumowatość (N) Gumminess		34,41	\pm 16,04	35,51	\pm 10,25	25,68	\pm 2,78 ^x	44,25	\pm 5,27 ^y	*
Żuwalność (N) Chewiness		30,41	\pm 15,48 ^x	29,07	\pm 5,70 ^x	17,62	\pm 3,15 ^y	37,69	\pm 3,44 ^x	*

Grupa: C – kontrolna – niemarynowana, I – ocet tymiankowy, II- ocet szałwiowy, III - ocet rozmarynowy
 x, y, z – wartości średnie oznaczone różnymi literami w wierszach różnią się statystycznie istotnie przy $P < 0,05$;
 * wpływ statystycznie istotny danego parametru ($P < 0,05$); NS – brak istotności statystycznej ($P > 0,05$)

Group: C – control – unmarinated, I – thyme vinegar, II – sage vinegar, III – rosemary vinegar
 x, y, z – mean values marked with different letters in rows differ statistically significantly at $P < 0.05$;
 * statistically significant effect of a given parameter ($P < 0.05$); NS – no statistical significance ($P > 0.05$)

Źródło: badania własne

Obniżenie adhezyjności można tłumaczyć modyfikacją struktury włókien mięśniowych i tkanki łącznej. Kwaśne środowisko wytwarzane przez octy ziołowe osłabia wiązania między włóknami mięśniowymi, stymuluje częściową denaturację białek miofibrylarnych oraz proteolizę katepsynową [5–7, 15], co skutkuje zmniejszeniem lepkości mięsa i jego przylegania do powierzchni pomiarowej.

Uzyskane wyniki są zgodne z danymi literaturowymi, w których wykazano, że marynowanie w kwaśnych roztworach, w tym octach owocowych i ziołowych, prowadzi do redukcji adhezyjności mięsa, przy jednoczesnym zwiększeniu jego kruchości oraz zachowaniu zdolności do zatrzymywania wody [6, 17]. Wyniki te sugerują, że zastosowanie octów ziołowych w procesie marynowania może korzystnie wpływać na właściwości sensoryczne mięsa, poprawiając komfort konsumpcji bez nadmiernego wysuszenia produktu.

Tabela 3. Wpływ gatunku mięsa (M), rodzaju octu (O) oraz ich interakcji (M × O) na parametry reologiczne mięsa (efekty istotne statystycznie, $P < 0,05$)

Table 3. Effect of meat type (M), vinegar type (O), and their interaction (M × O) on meat rheological parameters (statistically significant effects, $P < 0.05$)

Parametry/Parameter		Wpływ/Effects		
		M	O	M x O
Twardość (N) <i>Hardness</i>	I	*	*	*
	II	*	*	*
	I-II	*	*	*
Sprężystość (-) <i>Springiness</i>		NS	NS	*
Adhezyjność (mJ) <i>Adhesiveness</i>		NS	NS	*
Żylastość (-) <i>Stringiness</i>		NS	*	*
Odbojność (-) <i>Resilience</i>		NS	NS	NS
Kohezyjność (-) <i>Cohesiveness</i>		*	NS	*
Gumowatość (N) <i>Gumminess</i>		*	NS	*
Żuwalność (N) <i>Chewiness</i>		*	NS	*

Objaśnienie: M- mięso, O- ocet, * wpływ statystycznie istotny danego parametru ($P < 0,05$); NS – brak istotności statystycznej

Explanation: M – meat, O – vinegar, * statistically significant effect of a given parameter ($P < 0.05$); NS – no statistical significance

Źródło: badania własne

Żylastość mięsa określa jego zdolność do powrotu do pierwotnego kształtu po usunięciu obciążenia i stanowi wskaźnik sprężysto-elastycznych właściwości tkanki mięśniowej [7, 16]. Wysokie wartości żylastości wskazują na zwartą i jędrną strukturę włókien mięśniowych, natomiast niższe – na mięso bardziej podatne na odkształcenia i łatwiejsze do deformacji podczas żucia [7, 16].

W badaniach własnych (tab. 1 i 2) wykazano, że marynowanie w fermentowanych, niepasteryzowanych octach ziołowych istotnie wpływało na żylastość mięsa drobiowego i karkówki wieprzowej ($p < 0,05$). W mięsie drobiowym najwyższą żylastość stwierdzono w grupie kontrolnej ($5,54 \pm 2,05$), natomiast najniższe wartości obserwowano w próbkach marynowanych w occie rozmarynowym ($0,38 \pm 0,14$). W karkówce wieprzowej żylastość była najniższa w próbkach marynowanych w octach tymiankowym i szałwiowym, natomiast najwyższa – w grupie kontrolnej ($0,50 \pm 0,61$). Wyniki te wskazują na wyraźne obniżenie żylastości mięsa pod wpływem kwaśnych roztworów octów, co sugeruje zmianę struktury włókien mięśniowych i tkanki łącznej.

Podobne obserwacje odnotowano w literaturze, gdzie marynaty octowe obniżały żyłastość mięsa poprzez kwasową degradację tkanki łącznej oraz rozluźnienie włókien mięśniowych [6–7]. W badaniach nad octami owocowymi wykazano m.in., że ocet ananasowy i truskawkowy znacząco redukowały twardość, siłę ścinania i energię ścinania mięsa drobiowego, natomiast ocet winogronowy obniżał te parametry w mięsie wołowym, co potwierdzają obserwacje z wykorzystaniem mikroskopii skaningowej. Dodatkowo proces marynowania może prowadzić do częściowej utraty białek przez dyfuzję, co również przyczynia się do zwiększenia kruchości produktu [14]. Uzyskane wyniki sugerują, że efekt zmiękczający mięsa drobiowego i wieprzowego wynika głównie z działania kwaśnego środowiska octów ziołowych, prowadzącego do degradacji włókien mięśniowych i tkanki łącznej, co przekłada się na obniżenie żyłastości oraz poprawę ogólnych właściwości teksturalnych mięsa.

Odbojność określa zdolność mięsa do powrotu do pierwotnego kształtu po usunięciu obciążenia i jest wskaźnikiem sprężysto-elastycznych właściwości tkanki mięśniowej [5–6, 16]. Wysokie wartości odbojności wskazują na zwartą i jędrną strukturę włókien mięśniowych, natomiast niższe – na mięso bardziej podatne i miękkie podczas żucia.

W badaniach własnych (tab. 1 i 2) odbojność mięsa drobiowego nie wykazała istotnych różnic między próbkami kontrolnymi a próbkami marynowanymi w różnych octach ziołowych (0,36–0,37, $p > 0,05$). W karkówce wieprzowej wartości odbojności były bardziej zróżnicowane – najniższe odnotowano w próbkach marynowanych w occie rozmarynowym ($0,15 \pm 0,01$), natomiast najwyższe w grupie kontrolnej ($0,42 \pm 0,32$); jednak różnice te nie były istotne statystycznie. Analiza wieloczynnikowa (tab. 3) wskazuje, że wpływ rodzaju octu i gatunku mięsa na odbojność jest niewielki, a efekt marynowania jest mniej wyraźny niż w przypadku twardości czy sprężystości.

Brak istotnych zmian sugeruje, że zastosowane octy ziołowe nie wpływają znacząco na elastyczność mięsa. Odbojność zależy przede wszystkim od integralności włókien mięśniowych oraz ilości i rozmieszczenia kolagenu. Podobne obserwacje odnotowali Fencioğlu i wsp. [18], wykazując, że marynowanie w occie nie zmieniało parametrów elastyczności, mimo że twardość i sprężystość ulegały modyfikacjom.

Kohezyjność określa zdolność mięsa do utrzymania integralności strukturalnej pod wpływem sił mechanicznych i stanowi miarę spójności włókien mięśniowych oraz tkanki łącznej [16]. Parametr ten odzwierciedla stopień wewnętrznych wiązań w materiale mięsnym i stanowi istotny wskaźnik jakości reologicznej oraz właściwości sensorycznych produktu.

W badaniach własnych (tab. 1 i 2) wykazano, że marynowanie w fermentowanych, niepasteryzowanych octach ziołowych istotnie modyfikowało kohezyjność mięsa drobiowego i karkówki wieprzowej ($p < 0,05$), przy czym kierunek zmian zależał od gatunku mięsa oraz rodzaju zastosowanego octu. W mięsie drobio

wym najwyższą kohezynność uzyskano po marynowaniu w occie rozmarynowym ($0,41 \pm 0,09$), natomiast najniższe wartości odnotowano w grupie kontrolnej ($0,29 \pm 0,09$). W karkówce wieprzowej obniżenie kohezynności stwierdzono po zastosowaniu octu szałwiowego, podczas gdy ocet rozmarynowy nie powodował istotnych zmian tego parametru.

Zmiany kohezynności można wiązać z obniżeniem pH oraz oddziaływaniem kwaśnych marynat na strukturę białek miofibrylarnych i kolagenu, prowadzącym do przebudowy wewnętrznych wiązań włókien mięśniowych [6–7, 19]. Wzrost kohezynności w mięsie drobiowym po marynowaniu w occie rozmarynowym może świadczyć o korzystnym uporządkowaniu struktury białkowej, natomiast obniżenie tego parametru w karkówce wieprzowej po zastosowaniu octu szałwiowego może wynikać z intensywniejszego oddziaływania związków fenolowych na kolagen. Zmiany kohezynności wraz ze spadkiem twardości i gumowatości wskazują, że marynaty octowe mogą poprawiać właściwości reologiczne mięsa, wzmacniając jego teksturę i akceptowalność sensoryczną bez nadmiernego rozpadu struktury mięśniowej.

Gumowatość definiuje się jako siłę wymaganą do żucia próbki mięsa do konsystencji gotowej do przełknięcia; jest to parametr pochodny twardości oraz kohezynności. Wysokie wartości gumowatości wskazują na większą odporność mięsa na rozdrabnianie i dłuższy czas żucia, natomiast niższe wartości świadczą o bardziej kruchej i łatwiejszej do spożycia strukturze mięsa [16].

Na podstawie wyników badań własnych (tab. 1 i 2) wykazano, że marynowanie w fermentowanych, niepasteryzowanych octach ziołowych istotnie wpływało na gumowatość mięsa drobiowego i karkówki wieprzowej ($p < 0,05$). W mięsie drobiowym najwyższe wartości gumowatości zanotowano po zastosowaniu octu tymiankowego ($18,54 \pm 5,99$ N), natomiast najniższe – w grupie kontrolnej ($9,80 \pm 5,00$ N), podczas gdy ocet szałwiowy i rozmarynowy wywołały zmiany pośrednie. W karkówce wieprzowej największą gumowatość odnotowano w próbkach marynowanych w occie rozmarynowym ($44,25 \pm 5,27$ N), natomiast w grupie kontrolnej wynosiła ona $34,41 \pm 16,04$ N. Zastosowanie octów tymiankowego i szałwiowego powodowało umiarkowane zmiany w stosunku do grupy kontrolnej. Wyniki te pokazują, że wpływ octów ziołowych na gumowatość mięsa jest zależny zarówno od gatunku mięsa, jak i rodzaju zastosowanej marynaty.

Zmiany gumowatości można wiązać z modyfikacją struktury mięśni oraz tkanki łącznej w warunkach obniżonego pH. Kwaśne środowisko powoduje częściową denaturację białek miofibrylarnych i kolagenu, co zwiększa spójność włókien mięśniowych oraz odporność mięsa na rozdrabnianie podczas żucia [5, 16]. Podobne efekty opisano w literaturze; Ünal i wsp. [6] oraz Erdem [7] wykazali, że marynowanie w octach owocowych znacząco modyfikuje gumowatość mięsa drobiowego i wołowego poprzez redukcję twardości przy jednoczesnym zwiększeniu spójności

włókien. Tkacz i wsp. [17] stwierdzili wzrost gumowatości mięsa drobiowego po zastosowaniu marynat ziołowych, co tłumaczyli synergistycznym działaniem kwasów organicznych i bioaktywnych związków roślinnych na kolagen i miofibryle. Dykiel i wsp. [19], Erdem [7] oraz Ünal i wsp. [6] podkreślają, że wpływ marynaty na gumowatość jest uzależniony od wielu czynników, takich jak rodzaj mięsa, czas marynowania oraz chemiczny skład zastosowanego octu.

Żuwalność odnosi się do energii potrzebnej do przeżucia próbki mięsa do momentu połknięcia; jest to parametr pochodnym twardości, sprężystości oraz kohezji [16]. Wysokie wartości żuwalności wskazują na mięso bardziej odporne na rozdrabnianie, natomiast niska żuwalność świadczy o większej kruchości i łatwiejszej konsumpcji produktu.

W badaniach własnych (tab. 1 i 2) wykazano, że marynowanie w fermentowanych, niepasteryzowanych octach ziołowych istotnie obniżało żuwalność mięsa drobiowego i karkówki wieprzowej w porównaniu z grupami kontrolnymi ($p < 0,05$). W mięsie drobiowym najniższą żuwalność stwierdzono w próbkach marynowanych w occie rozmarynowym ($8,96 \pm 2,98$ N), podczas gdy w grupie kontrolnej wynosiła ona $7,50 \pm 5,20$ N. W karkówce wieprzowej zastosowanie octów tymiankowego i szałwiowego prowadziło do istotnego obniżenia tego parametru. Wyniki wskazują, że marynowanie skutecznie modyfikuje strukturę mięsa, zmniejszając energię potrzebną do jego przeżuwania, a tym samym poprawiając kruchość i akceptowalność sensoryczną.

Obniżenie żuwalności można przypisać kilku mechanizmom. Po pierwsze, kwaśne środowisko wytwarzane przez octy osłabia wiązania między włóknami mięśniowymi a tkanką łączną, co ułatwia fragmentację mięsa. Po drugie, aktywacja proteolizy katepsynowej prowadzi do częściowej degradacji białek miofibrylarnych, takich jak aktyna, miozyna oraz tropomiozyna [7, 15].

Uzyskane wyniki są zgodne z danymi literaturowymi [6, 17, 20], w których wykazano, że marynaty na bazie octów owocowych i ziołowych obniżają twardość i żuwalność mięsa drobiowego oraz wołowego, jednocześnie poprawiając jego właściwości sensoryczne i ułatwiając konsumpcję. Obniżenie żuwalności przy zachowaniu spójności strukturalnej i zdolności mięsa do zatrzymywania wody sugeruje, że marynaty octowe korzystnie modyfikują właściwości reologiczne mięsa, bez nadmiernego rozluźnienia tkanki mięśniowej [6–7, 17, 20].

Wnioski

Wyniki niniejszych badań wykazały, że rodzaj zastosowanego fermentowanego, niepasteryzowanego octu ziołowego istotnie wpływa na właściwości reologiczne mięsa drobiowego i karkówki wieprzowej, w szczególności na parametry teksturalne

oceniane metodą analizy profilu tekstury (TPA). Marynowanie w octach ziołowych prowadziło do istotnych zmian twardości, żylastości, żuwalności, adhezyjności, gumowatości i kohezji, podczas gdy odbojność (resilience) wykazywała mniejszą wrażliwość na proces marynowania.

Najkorzystniejsze efekty w zakresie poprawy kruchości zaobserwowano w próbkach mięsa drobiowego marynowanego w occie rozmarynowym, natomiast w karkówce wieprzowej istotne obniżenie parametrów związanych z oporem podczas żucia uzyskano po zastosowaniu octów tymiankowego i szałwiowego. Wyniki te potwierdzają skuteczną modyfikację struktury włókien mięśniowych i tkanki łącznej pod wpływem zastosowanych marynat.

Uzyskane wyniki mają praktyczne znaczenie dla optymalizacji składu marynat, umożliwiając świadomy dobór rodzaju octu ziołowego w celu kształtowania pożądaných właściwości reologicznych i sensorycznych mięsa. Fermentowane, niepasteryzowane octy ziołowe mogą stanowić naturalną alternatywę dla konwencjonalnych marynat stosowanych w przemyśle mięsnym.

Wyniki niniejszych badań mogą stanowić podstawę szerszego zastosowania niepasteryzowanych octów ziołowych w technologii przetwórstwa mięsnego oraz wspierać rozwój innowacyjnych, naturalnych rozwiązań w przemyśle spożywczym.

Artykuł powstał w ramach dofinansowania z Funduszu Stypendialnego im. Stanisława Pigonia Państwowej Akademii Nauk Stosowanych w Krośnie (PANS.SP.48.2025).

Literatura

- [1] Lee S.H., Kim S.C., Chai H.H., Cho S.H., Kim H.C., Lim D., Gondro C., Mutations in calpastatin and μ -calpain are associated with meat tenderness, flavor and juiciness in Hanwoo (Korean cattle): Molecular modeling of the effects of substitutions in the calpastatin/ μ -calpain complex, *Meat Science*, 2014, 96(4), s. 1501–1508.
- [2] Han J., Morton J., Bekhit A., Sedcole J., Pre-rigor infusion with kiwifruit juice improves lamb tenderness, *Meat Science*, 2009, 82(3), s. 324–330.
- [3] Roudbari Z., Coort S. L., Kutmon M., Eijssen L., Melius J., Sadkowski T., Evelo C.T., Identification of biological pathways contributing to marbling in skeletal muscle to improve beef cattle breeding, *Frontiers in Genetics*, 2020, 10, 1370.
- [4] Yusop S., O’Sullivan M., Kerry J., Marinating and enhancement of the nutritional content of processed meat products, [w:] *Processed Meats*, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Woodhead Publishing, 2011, s. 421–449.
- [5] Sengun I.Y., Turp G.Y., Cicek S.N., Avci T., Ozturk B., Kilic G., Assessment of the effect of marination with organic fruit vinegars on safety and quality of beef, *International Journal of Food Microbiology*, 2021, 336, 108904.