

Dr inż. Andrzej PÓLTORAK
 Dr inż. Jarosław WYRWISZ
 Mgr inż. Małgorzata MOCZKOWSKA
 Mgr inż. Monika MARCINKOWSKA-LESIAK
 Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, SGGW w Warszawie

WPŁYW PROCESU DOJRZEWANIA I OBRÓBK TERMICZNEJ NA KSZTAŁTOWANIE JAKOŚCI MIĘSA WOŁOWEGO POZYSKANEGO Z SYSTEMU JAKOŚCI®

The impact of the aging process on the components of texture of beef
 from different production systems®



*„Praca została współfinansowana przez Unię Europejską
 w ramach Śródków Europejskiego Funduszu Społecznego”*

Słowa kluczowe: mięso wołowe, proces dojrzewania, właściwości fizyczne, metody instrumentalne.

Główny problem sektora mięsa wołowego to utrzymanie wysokiej i powtarzalnej jakości mięsa. Jedną z najczęstszych przyczyn braku akceptacji mięsa wołowego jest jego wysoka twardość, włóknistość oraz niska soczystość. Twardość determinowana jest głównie ilością śródmięśniowej tkanki łącznej i tłuszczu śródmięśniowego oraz długością sarkomerów. Zachodzące po uboju w tkance mięśniowej procesy biochemiczne wywierają znaczący wpływ na jakość mięsa wołowego, przeznaczonego na cele kulinarne. Zastosowanie instrumentalnych pomiarów tekstury pozwala na obiektywne zdefiniowanie składowych tekstury mięsa wołowego zarówno surowego, jak i poddanego obróbce cieplnej. Dojrzewanie mięsa jest jednym z najważniejszych procesów determinujących jakość kulinarnego mięsa. Właściwe jego przeprowadzenie warunkuje poprawę kruchości mięsa wołowego, jak również zwiększa powtarzalność dobrej jakości.

Key words: beef, aging process, physical properties, instrumental methods.

Of all the meat traits, tenderness is considered to be the most important with regard to eating quality. One of the most common causes of unacceptability in meat quality is toughness. Toughness is attributed to a range of factors including the amount of intramuscular connective tissue, intramuscular fat, and the length of the sarcomere. However, it is apparent that the extent of proteolysis of key proteins within muscle fibres is significant determinant of ultimate tenderness. After the slaughter in muscle tissue biochemical occurring processes have a significant influence on the quality of beef, primarily intended for culinary purposes. The use of instrumental measurements of texture allows for an objective definition of texture components in both raw and cooked beef. The aging process is one of the most important processes that determine the quality of the culinary meat. Competent to carry out the conditions for improving the tenderness of beef, as well as increases its quality.

WSTĘP

Głównym czynnikiem warunkującym akceptację dla mięsa wołowego przez konsumenta jest jego jakość, postrzegana głównie poprzez wyróżniki takie jak barwa, ilość tłuszczu śródmięśniowego i okrywowego oraz tekstura [12]. Sposób odbioru jakości produktów spożywczych przez konsumenta, różni się znacząco w porównaniu do postrzegania go w ujęciu technologicznym, towaroznawczym czy kontroli jakości. Wynika to z faktu, że konsument dokonując zakupu posiada głównie możliwość oceny wizualnej tylko niektórych wyróżników jakościowych [10, 29].

Zdefiniowanie pojęcia jakości mięsa wołowego jest trudne, i niejednoznaczne. W zależności od potrzeb konsumenta oczekiwania są różne, lecz przede wszystkim dotyczą mięsa

uzyskanego z młodych, dobrze umięśnionych zwierząt, które charakteryzuje się odpowiednimi cechami sensorycznymi (smak, zapach) [24], jak również odpowiednią barwą, soczystością i kruchością [21]. Ponadto powinno nadawać się ono do łatwego i szybkiego przygotowania do spożycia. Oprócz wcześniej wymienionych cech, istotny wpływ na postrzeganie jakości mięsa wołowego ma powtarzalność, zwłaszcza pod względem kruchości, gdyż w dużej mierze decyduje o powtórnym zakupie [37].

W celu zapewnienia wysokiej jakości i powtarzalności mięsa wołowego opracowano systemy gwarantowanej jakości, w Polsce System QMP. Ich zadaniem jest zapewnienie kontroli odpowiednich wyróżników jakościowych poprzez wprowadzenie pełnej identyfikowalności (*traceability*) wytwarzanych produktów. Jest to możliwe, ponieważ systemy

te obejmują swoim programem wszystkie etapy produkcji począwszy od programu krzyżowalniczego, poprzez zachowanie dobrostanu zwierząt, odpowiednie ich żywienie oraz proces uboju i dojrzwania, skończywszy na wprowadzeniu do obrotu handlowego [1].

Istotne znaczenie, dla doboru właściwych warunków i okresu przechowywania (proces dojrzwania) mięsa po uboju, jak również wyboru najodpowiedniejszej metody obróbki cieplnej w celu właściwego przygotowania mięsa wołowego, zwłaszcza kulinarnego, ma określenie czynników warunkujących odpowiednie cechy jakościowe uzyskiwanego mięsa, w szczególności poszczególnych mięśni, ze względu na ich różne przeznaczenie kulinarne [26].

Tekstura stanowi właściwość o naturze sensorycznej i psychofizycznej, a uzależniona jest od budowy chemicznej, struktury oraz właściwości reologicznych produktu. Zastosowanie instrumentalnych metod pomiaru tekstury i jej składowych pozwala na obiektywną ocenę jakości mięsa. Ponadto metody instrumentalne umożliwiają stały monitoring jakości w celu stabilizacji parametrów jakościowych oraz uzyskanie wysokiej powtarzalności jakości wytwarzanych produktów [5].

Celem artykułu jest przedstawienie wpływu postępowania poubojowego, w szczególności czasu i warunków procesu dojrzwania a także wpływu obróbki kulinarnej, na składowe tekstury mięsa wołowego, przy wykorzystaniu instrumentalnych pomiarów właściwości fizycznych.

ZNACZENIE PROCESU DOJRZWANIA W KSZTAŁTOWANIU JAKOŚCI MIĘSA WOŁOWEGO

Zachodzące po uboju w tkance mięśniowej procesy biochemiczne wywierają znaczący wpływ na kształtowanie jakości mięsa wołowego, przeznaczonego na cele kulinarne. W związku z tym, nie tylko proces przechowywania mięsa po uboju ma istotne znaczenie, ważną rolę odgrywa również prawidłowe przeprowadzenie procesu schładzania tusz, z uwagi na możliwość wystąpienia skurczu chłodniczego [36].

Mianem skurczu chłodniczego określane jest zmniejszenie rozmiarów sarkomerów mięśniowych (skrócenie czasem nawet o połowę ich początkowej długości). Ma to miejsce w warunkach beztlenowych i w niskiej temperaturze przy nadmiarze jonów wapnia (Ca^{2+}) zlokalizowanych we włóknach mięśniowych [6, 14, 33]. Podczas skurczu następuje przemieszczenie białek miofibrilarnych w taki sposób, że miozyna powoduje rozpad linii granicznej „Z” sarkomeru wchodząc w interakcję z aktyną należącą do sąsiedniego sarkomeru. Wynika to z obniżonej zdolności wyłapywania jonów wapnia (Ca^{2+}) przez struktury mitochondrialne oraz ograniczonej możliwości ich wiązania poprzez retikulum sarkoplazmatyczne.

Główną przyczyną wystąpienia tego zjawiska jest obniżenie temperatury tkanki mięśniowej poniżej 15°C przed wystąpieniem stężenia pośmiertnego przy wartości pH wyższej niż 5,9 [6, 36]. Potwierdzone to zostało w doświadczeniu przeprowadzonym przez Rosenfolda i Andersen'a [33], w którym stwierdzono zależność między tempem glikolizy a procesem kureczenia mięśni. Im szybciej zachodzi glikoliza w mięśniu, tym szybciej tworzy się napięcie i silniejszy skurcz w mięśniach [33].

W wielu badaniach wykazano niekorzystny wpływ wystąpienia skurczu chłodniczego na jakość uzyskiwanego mięsa. Zjawisko to oddziałuje przede wszystkim na teksturę oraz wodochłonność, obniżając znacząco przede wszystkim kruchość uzyskiwanego mięsa wołowego [14, 16, 36, 39].

Bezpośrednio po uboju mięso zwierząt rzeźnych nie stanowi pełnowartościowego produktu, ponieważ, że charakteryzuje się niską kruchością i soczystością. Składniki w nim zawarte nie są w dostatecznym stopniu przyswajalne przez organizm człowieka. Podczas dojrzwania, zachodzi szereg przemian, między innymi częściowy rozpad białek, glikogenu oraz innych składowych tkanki mięśniowej, w wyniku którego wykształcane są właściwości technologiczne, kulinarne oraz odżywcze mięsa, przede wszystkim kruchość, smakowitość, soczystość, wodochłonność oraz barwa. Proces poubojowego dojrzwania odgrywa niezwykle istotną rolę w kształtowaniu jakości mięsa wołowego [34].

Uważa się, że za poprawę kruchości mięsa wołowego odpowiedzialny jest system kalpainowy. Proces kruszenia mięsa jest warunkowany działalnością enzymów μ -kalpains i m -kalpains zależnych od obecności jonów wapnia (Ca^{2+}) oraz ich specyficznego inhibitora kalpastatyny. Inhibitor ten stanowi główny element regulujący działalność systemu kalpainowego podczas procesu dojrzwania mięsa wołowego [4, 36]. Aktywność kalpains i ich endogennego inhibitora w głównej mierze zależy od wartości pH środowiska, i jest częściowo odwracalna [4, 17, 19].

W wyniku procesu dojrzwania zachodzi szereg zmian w mikro- i ultrastrukturze włókien mięśniowych, między innymi osłabienie miofibrilli oraz fragmentacja i zmiany wózków lini „Z” i „I”, a także degradacja zarówno białek miofibrilarnych, jak również cytoskieletowych [4, 22]. Zmiany te warunkują poprawę kruchości mięsa wołowego, gdyż proces kruszenia podczas dojrzwania inicjowany jest przez μ -kalpainę, która aktywowana jest przy niskim stężeniu jonów wapnia (Ca^{2+}) uwalnianych z retikulum sarkoplazmatycznego mitochondriów podczas sztywnienia mięśni (pH=6,3, około 6h po uboju). Wraz ze wzrostem stężenia jonów wapnia (Ca^{2+}) zachodzi aktywacja m -kalpains, która jest odpowiedzialna za dalsze etapy procesu tenderyzacji mięsa wołowego [14]. Kalpains charakteryzują się optymalną aktywnością przy pH 7,0-7,5, jednakże ich stabilność nie jest duża [22].

Przebieg procesu dojrzwania oraz tenderyzacji uzależniony jest od wielu czynników, przede wszystkim od stężenia kalpains i aktywności kalpastatyny w tkance mięśniowej. Mięśnie czerwone charakteryzują się wyższym stężeniem mioglobiny, niższym poziomem glikogenu oraz mają wyższą zawartość tłuszczu niż włókna białe. Białe włókna mięśniowe mają wysoką zawartość enzymów glikolitycznych w związku z tym charakteryzują się szybszą odpowiedzią na pobudzenie, ale również szybciej się męczą w porównaniu do włókien czerwonych. Białe włókna mięśniowe odznaczają się szybszym tempem spadku wartości pH. Mięśnie charakteryzujące się przewagą białych włókien mięśniowych dojrzwają szybciej niż mięśnie z przewagą czerwonych włókien mięśniowych [7]. Przebieg tych procesów uzależniony jest również od szybkości poubojowych przemian glikolitycznych, gdyż szybkość spadku wartości pH mięśni uzależniona jest od rozpadu ATP i uaktywnienia ATP-azy miozynowej [17].

Dojrzewanie mięsa wołowego w klasycznej formie stanowi proces długotrwały, generując wysokie koszty produkcji, przy czym nie zawsze daje pożądane efekty, zwłaszcza pod względem kruchości. W związku z tym opracowywane są metody i techniki mające na celu przyspieszenie przemian zachodzących podczas dojrzewania, zwłaszcza odpowiadające za zwiększenie kruchości uzyskiwanego mięsa wołowego. Wśród nich można wymienić kondycjonowanie temperaturowe, elektrostymulację, zabieg *hydrodynamyczny*, stosowanie enzymów pochodzenia roślinnego, zwierzęcego, mikrobiologicznego, a także wprowadzanie roztworów soli (NaCl, MgCl, KCl, CaCl₂) poprzez nastrzykiwanie lub marynowanie mięsa [18, 28].

Przeprowadzone badania pokazują, że najlepsze efekty skrócenia okresu dojrzewania uzyskiwane są przy zastosowaniu kombinacji różnych metod. Zastosowanie ostrza (jedno- lub dwukrotne) wpływa na poprawę kruchości mięśnia bez wpływu na smak czy soczystość. Ponadto według George-Evins i wsp. [9] poprawa kruchości steków może zostać uzyskana poprzez łączne zastosowanie procesu dojrzewania poubojowego i ostrza, niezależnie od stopnia obróbki kulinarnej. Uzyskanie odpowiedniego poziomu kruchości mięsa wołowego wymaga odpowiednio przeprowadzonego procesu dojrzewania (parametry czasowo – temperaturowe). W klasycznej formie proces ten prowadzony jest w temperaturze od -1 do 7°C, przez co najmniej 14 dni [41]. W wielu badaniach proces dojrzewania zachodzi jednakże w temperaturze 0 - 4°C przez okres 7-14 dni. W doświadczeniu przeprowadzonym przez George-Evins i wsp. [9] wykazano, że proces dojrzewania po uboju mięśnia pośladowego średnio przez 21 dni poprawia jego kruchość w porównaniu do tego samego mięśnia poddawanego procesowi dojrzewania po uboju przez 7 dni.

Zależność pomiędzy długością dojrzewania a wyróżnikami teksturalnymi mięsa wołowego określano w wielu badaniach. Dzięki zastosowaniu analizy wartości siły cięcia metodą Warnera Bratzlera wykazano, że dojrzewanie wołowego mięśnia *semitendinosus* w temperaturze 4°C przez 12 dni powoduje dwukrotny wzrost rozpuszczalności kolagenu i dwukrotny spadek wartości parametrów profilowej oceny tekstury – twardości i żuźności, w porównaniu z próbkami poddanymi dojrzewaniu przez 5 dni [27]. Potwierdzają to wyniki uzyskane przez Jeremiah i Gibson'a [15], którzy wykazali, że kruchość steków wołowych poprawia się wraz z wydłużaniem czasu dojrzewania poubojowego. Zdolność zatrzymywania wody mięsa wołowego można zwiększyć również poprzez proces dojrzewania, nawet przy różnych wartościach pH środowiska. Wodochłonność mięsa wołowego zależna jest przede wszystkim od rasy, wieku, płci jak również funkcji poszczególnych mięśni. Poprawa zdolności zatrzymywania wody podczas dojrzewania wynika ze zmiany stosunku jonowego tkanki mięśniowej, wchłaniania jonów potasu (K⁺) i uwalniania jonów wapnia (Ca²⁺) [20]. Według Li i wsp. [22] proces dojrzewania istotnie wpływa na zwiększenie zawartości wody w mięśniu półścięgnistym (*m. semitendinosus*), natomiast Ruiz de Huizdobro i wsp. [35] nie wykazali istotnego wpływu tego procesu na zwiększenie wodochłonności mięsa wołowego.

CHARAKTERYSTYKA METOD OBRÓBKIE CIEPLNEJ MIĘSA WOŁOWEGO

Obróbka związana z dostarczeniem energii cieplnej produktom żywnościowym, jest głównym procesem jednostkowym przetwarzania mięsa wołowego. Jej celem jest między innymi: zapewnienie możliwości konsumpcji i łatwiejszego przyswajania niektórych składników pokarmowych, nadanie odpowiednich cech sensorycznych, inaktywacja mikroorganizmów, itp. Proces obróbki cieplnej mięsa wiąże się z powstawaniem strat surowcowych, zmianą barwy, zapachu oraz tekstury produktu gotowego.

Wymiana ciepła pomiędzy powierzchnią produktu a płynem, która występuje podczas gotowania (woda, para wodna), smażenia (tłuszcz), czy pieczenia (powietrze), zależy od zjawisk hydrodynamicznych występujących w płynie oraz od jego przewodności cieplnej. Zasadniczą rolę podczas konwekcji odgrywają zjawiska zachodzące w warstwie przyściennej produktu, podczas których ustalają się profile prędkości i temperatury. Wnikanie ciepła jest bardziej intensywne obok cienkiej warstwy przyściennej, która decyduje o wielkości oporu cieplnego [40].

W związku z tym, że mięso zwykle nie jest spożywane w postaci surowej, proces obróbki cieplnej jest niezwykle istotny [32]. Zależność pomiędzy akceptowalnością konsumentką a kruchością mięsa wołowego jest w dużej mierze warunkowana metodą obróbki cieplnej [40].

Proces obróbki termicznej przyczynia się do zwiększenia rozpuszczalności tkanki łącznej, co decyduje o mięknięciu, zwiększając równocześnie twardość białek miofibrylarnych. Zmiany w składzie tkanki mięśniowej, powstające w wyniku działania temperatury, są warunkowane czasem i temperaturą zastosowanej obróbki. Kruchość mięsa jest ściśle skorelowana z jego teksturą, która podlega wpływowi białek miofibrylarnych, cytoszkieletu mięśniowego, śródmięśniowej tkanki łącznej oraz wody występującej wewnątrz włókien. Kruchość mięsa spada w dwóch wyraźnych fazach: między 40 a 60°C oraz między 65 a 80°C. W pierwszej fazie jest to związane ze zmianami zachodzącymi w tkance łącznej lub denaturacją białek miofibrylarnych, a w drugiej wynika z obkurczenia kolagenu lub wzrostu denaturacji/koagulacji białek miofibrylarnych [40].

Wyróżnia się dwa najważniejsze typy mięsa – o wysokiej lub niskiej zawartości tkanki łącznej. Decyduje to o wyborze jednej z metod obróbki kulinarnej – na sucho albo mokro. Mięso charakteryzujące się mniejszą zawartością tkanki łącznej (np. steki z żebra) powinno zostać poddane obróbce cieplnej na sucho, gdyż szybkie podniesienie temperatury w mięsie ogranicza straty pod względem jego kruchości. Dla elementów kulinarnych z wyższą ilością tkanki łącznej najodpowiedniejszą metodą jest obróbka cieplna z dużą zawartością wody. Dobór odpowiedniej metody obróbki cieplnej ma na celu nie tylko ograniczenie strat procesowych, ale także poprawę kruchości mięsa [11]. Boleman i współpracownicy [2] stwierdzili, że steki z wartościami siły cięcia 2,27 do 3,58 kg miały istotnie wyższe ($P < 0,05$) wyniki soczystości w porównaniu do steków z wyższymi wartościami siły cięcia. W badaniu tym, konsumenci byli skłonni zapłacić wyższą cenę za steki, które cechują się powtarzalną kruchością.

Temperatura i czas obróbki cieplnej wpływa na fizyczne właściwości mięsa i jego jakość. Proces obróbki cieplnej prowadzony w próżni (*cook-vide*) nie powoduje większych strat procesowych, niż obróbka w warunkach ciśnienia atmosferycznego w tej samej temperaturze. Według Garcia-Segovia i wsp. [8] obróbka cieplna prowadzona w sposób konwencjonalny (ciśnienie atmosferyczne) nie wpływa na uzyskanie znaczących różnic, po względem wartości siły cięcia (mierzonej instrumentalnie), między trzema analizowanymi temperaturami (60°C, 70°C i 80°C) [8]. Natomiast Herring i Rogers [11] stwierdzili, że skrócenie czasu obróbki cieplnej może przyczynić się do wzrostu kruchości i soczystości w stekach poddanych konwencjonalnej obróbce cieplnej prowadzonej w piecu. Wyższe wartości kruchości i soczystości dla steków poddanych obróbce cieplnej w piecu na podczerwień w porównaniu do obróbki prowadzonej w sposób konwencjonalny wskazują, że ta metoda obróbki cieplnej może należeć zastosowanie w gastronomii.

Istotne jest, aby przy wyborze metody obróbki cieplnej brać pod uwagę rodzaj mięśnia, poddawanego przetwarzaniu [26]. Zastosowanie obróbki z wykorzystaniem elektrycznego grilla o ciągłym działaniu charakteryzowało się krótszym czasem przygotowania oraz przyczyniało się do powstania mniejszych strat technologicznych w porównaniu do obróbki prowadzonej z wykorzystaniem łaźni wodnej. Mięśnie o wysokiej zawartości kolagenu (dwugłowy uda i piersiowy) odznaczały się wyższym poziomem kruchości (pomiar z wykorzystaniem przystawki Warnera-Bratzlera) w temperaturze 45-65°C, a niższym, w temperaturze 65-80°C. Ten sam efekt nie był obserwowany w przypadku mięśnia najdłuższego grzbietu charakteryzującego się niewielką zawartością kolagenu. Optymalną kruchość w przypadku mięśnia najdłuższego grzbietu zaobserwowano w temperaturze 55°C, a dla mięśni dwugłowego uda i piersiowego między 60 a 65°C [26].

INSTRUMENTALNY POMIAR SKŁADOWYCH TEKSTURY MIĘSA WOŁOWEGO

Pojęcie tekstury jest wyróżnikiem jakości sensorycznej. Istnieje potrzeba przedstawienia jej składowych za pomocą obiektywnych wartości liczbowych, w celu uzyskania powtarzalności otrzymywanych wyników.

Instrumentalne pomiary tekstury pozwalają na obiektywne zdefiniowanie składowych tekstury zarówno surowego, jak i poddanego obróbce cieplnej mięsa. Uzyskana w ten sposób wiedza dotyczy zależności pomiędzy właściwościami mechanicznymi a mikrostrukturą mięsa i pozwala na prognozowanie wybranych cech jakości mięsa i produktów mięsnych.

Spośród wielu metod instrumentalnego pomiaru tekstury mięsa wołowego, które charakteryzują się wysoką korelacją z danymi otrzymanymi w wyniku analizy sensorycznej, w literaturze najczęściej opisywane są dwie, test przecinania z wykorzystaniem przystawki Warnera-Bratzlera oraz test TPA [3].

Test TPA oparty jest na dwukrotnym ściskaniu próbki pomiędzy dwoma równoległymi płytkami, przy czym jedna z płytek jest przesuwana w kierunku drugiej ze stałą

prędkością – zależną od charakteru materiału badawczego. Powoduje to ściśnięcie próbki, przy czym rejestrowana jest wartość siły potrzebnej do wywołania odkształcenia w danym momencie (rys. 1). Zazwyczaj próbki, na których przeprowadzany jest test TPA mają kształt walca lub sześcianu [42].

Test TPA składa się z dwóch etapów: pierwszy to ściśnięcie próbki do 50-procentowej kompresji, zaś drugi to ponowne ściśnięcie próbki do 75-procentowej kompresji z 3-sekundową przerwą pomiędzy tymi etapami (rys. 2). W celu określenia kruchości mięsa stosowanych jest kilka innych obiektywnych metod, jednakże przy ich zastosowaniu nie jest możliwy pomiar większości składowych tekstury mięsa i żadna z nich nie jest w stanie imitować w pełni złożoności procesu żucia, dlatego opracowano metodę, która w doskonały sposób symuluje ten proces. Jest to profilowa analiza tekstury zwana testem TPA. Stanowi ona obiektywną metodę pomiaru wartości siły ściskania próby oraz parametrów ściśle związanych z właściwościami tekstury analizowanej żywności w czasie dwóch cykli deformacji.

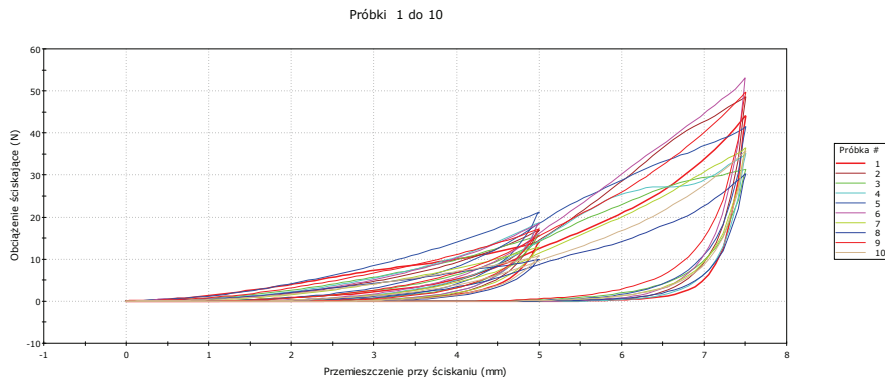
Test TPA można wykorzystać do przeprowadzania badań tekstury wielu różnych produktów żywnościowych, w tym mięsa i produktów mięsnych. Różnice pomiędzy subiektywną oceną sensoryczną kruchości mięsa wołowego wyznaczoną przez ekspercki panel sensoryczny a obiektywnym parametrem wyznaczonym w teście TPA wahają się w granicach od 3 do 85 % [3].

Przy zastosowaniu tej metody można określić takie parametry teksturalne jak: twardość, sprężystość, spoistość, odbojność, adhezyjność, łamliwość, gumiaistość. W przypadku tekstury mięsa wołowego analizowane są parametry określające twardość, sprężystość, spoistość, za pomocą których można obliczyć również żujność. Test TPA można zastosować do przewidywania wyróżników tekstury wyznaczonych w ocenie sensorycznej [34].

Metoda Warnera-Bratzlera polega na przecinaniu próbki mięsa za pomocą metalowego ostrza o grubości 1 mm. Badana próbka w kształcie cylindra, umieszczana jest w trójkątnym otworze noża, który odpowiada za odpowiednie jej ustawienie podczas procesu przecinania, zapobiegając przesunięciom próbki podczas testu. W czasie wykonywanego pomiaru rejestrowana jest siła potrzebna do całkowitego przecięcia próbki w funkcji czasu i przemieszczenia (rys. 3) [38].

Przecinanie metodą Warnera-Bratzlera stanowi jedno z najczęściej wykorzystywanych narzędzi do oceny najważniejszej składowej mięsa wołowego jaką jest kruchość [13] i należy do metod wykorzystywanych podczas badań przeprowadzanych z wykorzystaniem surowych próbek mięsa. Stosowana jest w większości badań naukowych, jak również w przemyśle w celu poszukiwania istotnych korelacji pomiędzy wartością siły przecinania a kruchością mięsa ocenianą za pomocą analizy sensorycznej. Niektórzy autorzy nie odnotowują wysokich korelacji pomiędzy siłą przecinania W-B i ogólną konsumencką akceptowalnością. Wynika to z faktu, że wiele czynników może oddziaływać na jakość wyrobu końcowego, między innymi takie jak zastosowana obróbka kulinarna, czy przyprawy dodane przed, jak i podczas obróbki cieplnej [23, 34].

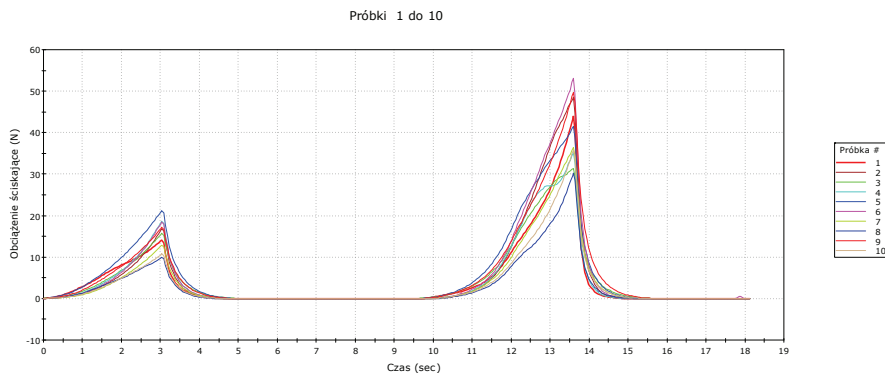
Test przecinania metodą Warnera-Bratzler'a stanowi mniej precyzyjne narzędzie do przewidywania kruchości



Rys. 1. Zmiany siły [N] w funkcji przemieszczenia przy ściskaniu [mm] w teście podwójnego ściskania (TPA).

Fig. 1. Force compression changes [N] as a function of the displacement [mm] in the double compression test (TPA).

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 2. Zmiany wartości siły [N] w funkcji czasu w teście podwójnego ściskania (TPA).

Fig. 2. Force compression changes [N] as a function of the time in the double compression test (TPA).

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3. Zmiany wartości siły [N] w funkcji przemieszczenia przy ściskaniu w teście przecinania metodą Warnera-Bratzlera.

Fig. 3. Force value changes [N] as as a function of the displacement [mm] in the Warner-Bratzler shear force test.

Źródło: Opracowanie własne

wołowiny określonej poprzez analizę sensoryczną. Korelacje pomiędzy wartością kruchości uzyskaną podczas testu przecinania wykonanego tą metodą a wynikami oceny sensorycznej mogą wahać się od -0,60 do -0,85. Mimo tak dużych rozbieżności, przedstawionych w danych literaturowych, sugeruje się, iż rezultaty przecinania metodą Warnera-Bratzlera wyjaśniają realną proporcję pod względem różnic w kruchości mięsa wołowego uzyskanych z analizy sensorycznej [3].

Analizując literaturę można stwierdzić, że zarówno profilowa analiza tekstury (test TPA) jak i metoda Warnera-Bratzlera (test przecinania) charakteryzują się podobną zdolnością przewidywania kruchości w subiektywnej ocenie sensorycznej mięsa wołowego. Potwierdzają to badania Caine i wsp. [3], którzy wykazali, że w przypadku zastosowania profilowej analizy tekstury (test TPA) możliwość przewidywania cech sensorycznych steków wołowych jest większa, niż w przypadku testu przecinania wykonanego z wykorzystaniem metody Warnera-Bratzlera. Natomiast Ruiz de Huidobro i wsp. [34] stwierdzili, że test TPA jest metodą bardziej przydatną do przewidywania wyróżników sensorycznych tekstury mięsa po obróbce cieplnej niż test przecinania Warnera-Bratzlera.

SPEKTROSKOPIA W PAŚMIE WIDZIALNYM I W BLISKIEJ PODCZERWIENI W ASPEKTCIE MOŻLIWOŚCI OCENY JAKOŚCI MIĘSA WOŁOWEGO

Spektroskopia odbiciowa w paśmie widzialnym i w bliskiej podczerwieni (Vis-NIR) stwarza możliwość szybkiego i dokładnego przewidywania różnych wyróżników jakości mięsa. Istnieje możliwość zastosowania jej online do jednoczesnej oceny różnych cech. Ze względu na powyższe zalety technologia ta wykorzystywana jest na szeroką skalę przez przemysł mięsny do badania zmian jakości mięsa oraz przewidywania chemicznego składu mięsa. Cechy mięsa, takie jak kruchość, są obecnie badane czasochłonnymi, destrukcyjnymi i wymagającymi dużych nakładów

pieniężnych metodami takimi jak pomiar tekstury z wykorzystaniem analizy Warnera-Bratzlera czy inne metody pomiaru wartości siły cięcia [31].

Analiza sensoryczna z wykorzystaniem zespołu przeszkolonych oceniających, jest również kosztowną i czasochłonną metodą. Kruchość, smakowitość i soczystość stanowią bardzo ważny czynnik związany z postrzeganiem jakości wołowiny przez konsumentów. Technologia Vis-NIR dostarcza informacji na temat molekularnej struktury (składniki chemiczne) i ultrastruktury tkanek skanowanej próbki, może więc być wykorzystana do przewidywania fizycznych i sensorycznych parametrów próbek mięsa [30].

Pierwszy raz zastosowano spektroskopię do predykcji twardości wołowiny w 1991 roku i uzyskano prawdopodobieństwo, z jakim można było oszacować kruchość/twardość wołowiny w 68%. Później prowadzono jeszcze inne badania, w których uzyskano umiarkowane prawdopodobieństwo predykcji twardości wołowiny. Uzyskane wyniki badań dotyczące przewidywania twardości wołowiny za pomocą spektroskopu publikowane w literaturze są często sprzeczne. Przyczyną sprzeczności jest wiele czynników takich jak: usytuowanie próbek w stosunku do światła oraz zastosowanie różnej metodyki [25].

Wyniki uzyskane przez Prieto i wsp. [31] wskazują, że wykorzystanie spektroskopii Vis-NIR w rzeźni pozwoliło przewidzieć wartości składowych barwy, która jest jednym z głównych czynników warunkujących decyzje konsumenta przy zakupie wołowiny. Pomiary Vis-NIR były również powiązane z cechami sensorycznymi, ale znacznie mniej, gdyż cechy sensoryczne są zależne od wielu czynników. Uzyskane zależności trzeba uznać za wartościowe, gdyż spektroskopia Vis-NIR była w stanie przewidzieć wieloczynnikową ocenę sensoryczną.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Proces dojrzewania jest decydującym czynnikiem warunkującym jakość mięsa wołowego. Pod wpływem procesów zachodzących w tkance mięśniowej podczas dojrzewania ma miejsce szereg przemian prowadzących do poprawy jakości uzyskiwanego mięsa. W jego wyniku następuje częściowa degradacja białek, glikogenu oraz innych składowych tkanki mięśniowej, co prowadzi do wykształcenia pożądanых cech sensorycznych (soczystość, smakowitość) i teksturalnych (kruchość), jak również odpowiednich właściwości technologicznych, kulinarnych i odżywczych.

Prawidłowość procesu dojrzewania warunkowana jest przede wszystkim parametrami czasowo-temperaturowymi, ponieważ wraz ze wzrostem temperatury przemiany biochemiczne w tkance mięśniowej przebiegają intensywniej.

Uzyskanie kulinarnego mięsa wołowego charakteryzującego się wysoką, powtarzalną jakością uzależnione jest nie tylko od procesu dojrzewania i warunków w jakich został on przeprowadzony. Istotnym czynnikiem jest również rodzaj elementu kulinarnego oraz wyjściowa jakość surowca, zwłaszcza jego właściwości fizyczne, gdyż zastosowane te same warunki procesu dojrzewania mogą w przypadku dwóch różnych elementów kulinarnych doprowadzić do otrzymania mięsa o zupełnie innej jakości.

Zastosowanie instrumentalnych pomiarów tekstury pozwala na obiektywne zdefiniowanie składowych tekstury mięsa wołowego zarówno surowego, jak i poddanego obróbce cieplnej. Uzyskana w ten sposób wiedza dotyczy korelacji pomiędzy właściwościami mechanicznymi a mikrostrukturą mięsa wołowego i może być użyta w celu poprawy jego jakości, głównie tekstury, umożliwiając prognozowanie wybranych cech jakości mięsa i produktów mięsnych. W przypadku oceny tekstury mięsa i produktów mięsnych najczęściej stosowana jest profilowa analiza tekstury (test TPA) oraz test z wykorzystaniem przystawki Warnera-Bratzler'a. Oba testy charakteryzują się wysoką korelacją z wynikami uzyskanymi w ocenie sensorycznej i mogą stanowić aplikacyjne narzędzie do oceny jakości mięsa wołowego.

Spektroskopię odbiciową w paśmie widzialnym i w bliskiej podczerwieni (Vis-NIR) charakteryzuje przede wszystkim szybkość oznaczeń oraz nieinwazyjność. Stanowi ona narzędzie wykorzystywane w celu predykcji różnych wyróżników jakości mięsa oraz istnieje możliwość zastosowania jej *online* do jednoczesnej oceny różnych cech. Metoda ta poprzez analizę ilościową umożliwia oznaczenie zawartości określonych składników i parametrów fizycznych. Dodatkowo analiza jakościowa ułatwia identyfikację tożsamości i autentyczności produktów wykorzystywanych w produkcji. Największą zaletą spektroskopii NIR *on-line* jest szybkość wykonywanych analiz, możliwość uzyskania kilku wyników jednocześnie oraz brak konieczności przygotowywania próbek. Spektroskopia w bliskiej podczerwieni pozwala ponadto na uzyskanie danych charakteryzujących się dużą dokładnością. Technologia ta wykorzystywana jest na szeroką skalę przez przemysł w celu analizy zmian jakości mięsa i umożliwia przewidywanie składu chemicznego mięsa w zależności od zastosowanego procesu i jego parametrów.

Szybka detekcja, zwłaszcza właściwości fizycznych za pomocą spektroskopii odbiciowej w paśmie widzialnym i w bliskiej podczerwieni stanowi całkiem nowe i aplikacyjne narzędzie, które po kolejnych udoskonaleniach metod badawczych może pozwalać na szybką ocenę składowych jakości mięsa. Otwiera to perspektywy uzyskania podstawy do najlepszego doboru parametrów procesów naprawczych, niekorzystnych cech powodujących ograniczenia przetwarzania oraz generujących wysokie straty powodowane wadami mięsa.

LITERATURA

- [1] **BIDNER T. D., HUMES P. E., WYATT W. E., FRANK D. E., PERSICA M. A., Gentry G. T., BLOUIN D. C. 2009.** *Influence of Angus and Belgian Blue bulls mated to Hereford × Brahman cows on growth, carcass traits, and longissimus steak shear force.* Journal of Animal Science, 87, 1167-1173.
- [2] **BOLEMAN S. J., BOLEMAN S. L., MILLER R. K., TAYLOR J. F., CROSS H. R., KOOHMARAIE, M., SHACKELFORD S. D., MILLER M. F., WEST R. L. 1997.** *Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness.* Journal Animal Sciences, 75 (6), 1521-1524.
- [3] **CAINE W. R., AALHUS J. L., BEST D. R., DUGAN M. E. R., JEREMIAH L. E. 2003.** *Relationship*

- of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat Science*, 64, 333-339.
- [4] COSTELLO S., O'DOHERTY E., TROY D. J., ERNST C. W., KIM K. S., STAPLETON P., SWEENEY T., MULLEN A. M. 2007. Association of polymorphisms in the calpain I, calpain II and growth hormone genes with tenderness in bovine *M. longissimus dorsi*. *Meat Science*, 75, 551-557.
- [5] DESTEFANIS G., BRUGIAPAGLIA A., BARGE M. T., DAL MOLIN E. 2008. Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner-Bratzler shear force. *Meat Science*, 78(3), s. 153-156.
- [6] DEVINE C. E., WAHLGREN N. M., TORNBERG E. 1999. Effect of rigor temperature on muscle shortening and tenderisation of restrained and unrestrained beef *m. longissimus thoracicus et lumborum*. *Meat Science*, 51, 61-72.
- [7] FLOREK M., LITWIŃCZUK A., SKALECKI P., RYSZKOWSKA-SIWKO M. 2007. Changes of physicochemical properties of bullocks and heifers meat during 14 days of ageing under vacuum. *Polish Journal of Food Nutrition Sciences*, 57, 281-288.
- [8] GARCÍA-SEGOVIA P., ANDRÉS-BELLO A., MARTÍNEZ-MONZO J. 2007. Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (*M. pectoralis*). *Journal of Food Engineering*, 80, 813-821.
- [9] GEORGE-EVINS C. D., UNRUH J. A., WAYLAN A. T., MARSDEN J. L. 2004. Influence of quality classification, aging period, blade tenderization, and endpoint cooking temperature on cooking characteristics and tenderness of beef *gluteus medius* steaks. *Journal of Animal Science*, 82, 1863-1867.
- [10] GRUNERT K. G., BREDAHL L., BRUNSO K. 2004. Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sector — A review. *Meat Science*, 66, 259-272.
- [11] HERRING J.L., ROGERS R.W. 2003. Evaluation of cooking methods on various beef steaks. *Journal of Muscle Foods*, 14, 163-171.
- [12] HOCQUETTE J. F., VAN WEZEMAEL L., CHRICKI S., LEGRANDE I., VERBEKE W., FARMER L., SCOLLAN N. D., POLKINGHORNE R., RØDBOTTEN R., ALLEN P., PETHICK D.W. 2014. Modelling of beef sensory quality for a better prediction of palatability. *Meat Science*, 97(3), 316-322.
- [13] JACKMAN P., DA-WEN SUN, CHENG-JIN D., ALLEN P., DOWNEY G. 2008. Prediction of beef eating quality from colour, marbling and wavelet texture features. *Meat Science*, 80, 1271-1281.
- [14] JAMES S. J., JAMES C. 2009. Chilling and freezing of meat and its effect on meat quality [w:] Kerry J.P., Ledward D.A., Improving the Sensory and Nutritional Quality of Fresh Meat, Woodhead Publishing, 339-360.
- [15] JEREMIAH L. E., GIBSON L. L. 2003. The effects of postmortem product handling and aging time on beef palatability. *Food Research International*, 36, 929-941.
- [16] KING D. A., DIKEMAN M. E., WHEELER T. L., KASTNER C. L., KOOHMARAIE M. 2003. Chilling and cooking rate effects on some myofibrillar determinants of tenderness of beef. *Journal of Animal Science*, 81, 1473-1481.
- [17] Kolczak T. 2008. Jakość wołowiny. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 56(1), 5-22.
- [18] KOLLE B. K., MCKENNA D. R., SAVELL J. W. 2004. Methods to increase tenderness of individual muscles from beef rounds when cooked with dry or moist heat. *Meat Science*, 68, 145-154.
- [19] KOOHMARAIE M., GEESINK G. H. 2006. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science*, 74, 34-43.
- [20] LAWRIE R. A. 2006. *The conversion of muscle to meat* [w:] Lawrie R.A., Ledward D., Lawrie's meat science, Woodhead Publishing, 128-156.
- [21] LAWRIE R. A. 2006. *The eating quality of meat*. [w:] Lawrie R.A., Ledward D., Lawrie's meat science, Woodhead Publishing, 212-258.
- [22] LI C., ZHOU G., XU X. 2008. Changes of meat quality characteristics and intramuscular connective tissue of beef semitendinosus muscle during postmortem aging for Chinese Yellow bulls. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 838-845.
- [23] LORENZEN C. L., MILLER R. K., TAYLOR J. F., NEELY T. R., TATUM J. D., WISE J. W., BUYCK M. J., REAGAN J. O., SAVELL J. W. 2003. Beef Customer Satisfaction: Trained sensory panel ratings and Warner-Bratzler shear force values. *Journal of Animal Science*, 81, 143-149.
- [24] MOCZKOWSKA, M. ŚWIDERSKI, F. 2012. Związki lotne kształtujące smakowość mięsa. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*. 1, 87-92.
- [25] NAGANATHANA G. K., GRIMES L. M., SUBBIAH J., CALKINS C. R., SAMAL A., MEYERA G. E. 2008. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(2), 225-233.
- [26] OBUZ E., DIKEMAN M. E., GROBBEL J. P., STEPHENS J. W., LOUGHIN T. M. 2004. Beef longissimus lumborum, biceps femoris, and deep pectoralis Warner-Bratzler shear force is affected differently by endpoint temperature, cooking method, and USDA quality grade. *Meat Science*, 68, 243-248.
- [27] PALKA K. 2003. The influence of post-mortem ageing and roasting on the microstructure, texture and collagen solubility of bovine semitendinosus muscle. *Meat Science*, 64, s. 191-198.
- [28] POLIDORI P., TRABALZA-MARINUCCI M., FANTUZ F., POLIDORI F. 2001. Post mortem proteolysis and tenderization of beef muscle through infusion of calcium chloride. *Animal Research*, 50, 223-226.

- [29] PÓLTORAK A., GĘBSKI J., WYRWISZ J., ZALEWSKA M., ŁOPACKA J., ULANICKA U., ŻONTAŁA K., STELMASIAK A., MOCZKOWSKA M., WIERZBICKA A. 2013. Wykorzystanie komputerowej analizy obrazu do oceny wybranych wyróżników jakości mięsa wołowego. *Inżynieria Rolnicza*, 1(141), 197-206.
- [30] PÓLTORAK A., WYRWISZ J., ULANICKA U., ŻONTAŁA K., STELMASIAK A., ŁOPACKA J., MOCZKOWSKA M., ZALEWSKA M., WIERZBICKA A. 2013. Analiza możliwości wykorzystania spektrometrii w bliskiej podczerwieni (NIR) jako metody wyznaczania składu podstawowego mięsa wołowego. *Inżynieria Rolnicza*, 1(141), 319-329.
- [31] PRIETO N., ROSS D. W., NAVAJAS E. A., NUTE G. R., RICHARDSON R. I, HYSLOP J. J., SIMM G., ROEHE R. 2009. On-line application of visible and near infrared reflectance spectroscopy to predict chemical-physical and sensory characteristics of beef quality. *Meat Science*, 83, 93-103.
- [32] RAKOWSKA R., SADOWSKA A., BATOGOWSKA J., WASZKIEWICZ-ROBAK B. 2013. Wpływ obróbki termicznej na zmiany wartości odżywczej mięsa. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 2, 111-115.
- [33] ROSENVOLD K., ANDERSEN H. J. 2003. Early postmortem muscle shortening and tension in relation to tenderness in beef *m. longissimus*. *Journal of Muscle Science*, 14, 265-280.
- [34] RUIZ DE HUIDOBRO F., MIGUEL E., BLÁZQUEZ B., ONEGA E. 2005. A comparison between two methods (*Warner-Bratzler and texture profile analysis*) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science*, 69, 527-536.
- [35] RUIZ DE HUIDOBRO F., MIGUEL E., ONEGA E., BLÁZQUEZ B. 2003. Changes in meat quality characteristics of bovine meat during the first 6 days post mortem. *Meat Science*, 65, 1439-1446.
- [36] VAN MOESEKE W., DE SMET S., CLAEYS E., DEMEYER D. 2001. Very fast chilling of beef: effects of meat quality. *Meat Science*, 59, 31-37.
- [37] VAN WEZEMAEL L., DESMET S., UELAND Ø., VERBEKE W. 2014. Relationships between sensory evaluations of beef tenderness, shear force measurements and consumer characteristics. *Meat Science*, 97, 310-315.
- [38] WARRIS P. D. 2001. *Meat Science. 2nd Edition: An Introductory text*. School of Veterinary Science University of Bristol, Bristol UK, Cabi Publishing, 194-205.
- [39] WHITE A., O'SULLIVAN E.E., O'NEILL D.J., TROY M. 2006. Manipulation of the pre-rigor phase to investigate the significance of proteolysis and sarcomere length in determining the tenderness of bovine *M. longissimus dorsi*. *Meat Science*, 73, 20, 4-208.
- [40] WICHCHUKIT S., ZORRILLA S.E., SIHGH R.P. 2001. Contact heat transfer coefficient during double-sided cooking of hamburger patties. *Journal of Food Processing Preservation*, 25, 207-221.
- [41] WICKLUND S.E., HOMCO-RYAN C., RYAN K.J., MCKEITH F.K., MCFARLANE B.J., BREWER M.S. 2005. Aging and Enhancement Effects on Quality Characteristics of Beef Strip Steaks. *Journal of Food Science*, 70(3), 242-248.
- [42] WIERZBICKA A. 2003. Wpływ wybranych aspektów inżynierii żywności na rozwój produktów spożywczych. [w:] Wierzbicka A. (red): Wybrane aspekty inżynierii żywności w tworzeniu produktów spożywczych. Wyd. SGGW, Warszawa, 14-22.