

Możliwość wykorzystania spektroskopii oscylacyjnej w diagnostyce jakości mięsa wieprzowego on-line

Krystian Tarczyński, Halina Sieczkowska,
Andrzej Zybert, Elżbieta Krzęcio-Nieczyporuk,
Katarzyna Antosik, Maria Koćwin-Podsiadła

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Odnutowywane w ostatnich latach gwałtowne zmiany na międzynarodowym rynku mięsnym, wynikające ze zmiany stylu życia i wymogów współczesnych konsumentów w odniesieniu do żywności, przyczyniły się nie tylko do znacznego wzrostu oczekiwań co do ilości nabywanych produktów, ale przede wszystkim ich jakości [4]. Jak podają Verbeke i wsp. [53], współczesny konsument przywiązuje z reguły nadmierną wagę do jakości i bezpieczeństwa nabywanej żywności, nawet pomimo faktu, że nie były one dotąd w większym stopniu monitorowane. Spotęgowanie wymagań konsumentów spowodowało natomiast, że konkurencyjność na rynku mięsnym, dążąca do zmiany jej obecnej formy związanej wyłącznie z ceną danego produktu w kierunku poprawy jego jakości, dotyczy nie tylko przetwórstwa, lecz przede wszystkim mięsa kulinarnego [20], którego udział w sprzedaży zarówno w krajach europejskich, jak i na rynku amerykańskim ulega stałemu wzrostowi [2, 10, 14].

W przypadku mięsa wieprzowego wzrost oczekiwań konsumentów spowodował, że w drugiej połowie minionego stulecia prace hodowlane, ukierunkowane głównie na poprawę procentowej zawartości mięsa w tuszy oraz cech tucznych świń, spowodowały osiągnięcie znacznego postępu, czego negatywnym skutkiem było jednak pogorszenie jakości pozyskiwanego surowca [28, 30]. Jakość wieprzowiny charakteryzuje się obecnie dość dużą zmiennością, a jej odchylenia niekorzystnie wpływają zarówno na akceptowalność konsumencką, jak i przydatność kulinarną i przetwórczą [31]. Powyższe przekłada się również na znaczne straty odnotowywane w całym łańcuchu produkcyjnym i dotyczy zarówno zakładów mięsnych, które ponoszą koszty związane z obniżeniem wodochłonności, jak i potencjalnych nabywców nie akceptujących stale pogarszającej się jakości nabywanego mięsa kulinarnego o zbyt jasnej barwie lub nadmiernym wycieku soku komórkowego [18, 37].

Wraz ze wzrostem oczekiwań konsumentów na rynku spożywczym, w tym sektora mięsnego oraz wymogami organów ustawodawczych dotyczącymi bezpieczeństwa produkowanej żywności, stale zwiększa się również zapotrzebowanie na szybkie, tanie i precyzyjne metody diagnostyczne jakości surowców [34]. Co więcej, powszechne tendencje do pełnego zautomatyzowania przebiegu procesów produkcyjnych sprawiają, że konieczne staje się uwzględnienie w nich metod on-line lub szybkich metod at-line [1]. Aktualnie wykorzystywane metody diagnostyczne jakości mięsa wieprzowego opierają się jednak na parametrach badanych w trakcie 24-godzinnego okresu jego dojrzewania i wiążą się z dużym nakładem kosztów oraz inwazyjnym sposobem przeprowadzania. Ponadto, wykorzystywane w nich urządzenia wymagają stałej kalibracji i konserwacji, co znacznie wydłuża czas wykonywanych pomiarów, uniemożliwiając ich pełne zautomatyzowanie.

Diagnostyka jakości surowców stanowi obecnie coraz częściej integralny element procesu produkcyjnego również ze względu na fakt, że ewentualne skutki pogorszenia ich stanu

muszą zostać zrekompensowane, co negatywnie wpływa na końcową cenę produktu [33]. Dla przemysłu mięsnego, który jest w stanie przetworzyć surowiec o każdej, nawet niskiej jakości wiąże się to z ponoszeniem wymiernych strat z tytułu nieodpowiedniego stosowania szeregu dodatków funkcjonalnych oraz nowych rozwiązań technologicznych. W związku z powyższym, dokładna klasyfikacja jakości mięsa wydaje się być nad wyraz istotnym elementem całego łańcucha produkcyjnego [41].

W niniejszym artykule przedstawiono aktualnie wykorzystywane metody analityczne jakości surowców, korzyści wynikające z ich stosowania w procesie produkcyjnym oraz możliwość implementacji spektroskopii oscylacyjnej, tj. spektroskopii w bliskiej podczerwieni (NIR) oraz spektroskopii Ramana w diagnostyce jakości mięsa wieprzowego on-line.

Metody analityczne w diagnostyce jakości mięsa wieprzowego

W kontroli jakości surowców w procesie produkcyjnym wykorzystywane są obecnie następujące metody analityczne [36]:

- off-line – pobrane z linii produkcyjnej próby zostają wysłane do laboratorium, gdzie następnie są poddawane wnikliwej analizie za pomocą specjalistycznego sprzętu (wadą jest długi czas oczekiwania na wyniki);
- at-line – wykorzystujące sprzęt pomiarowy znajdujący się na miejscu produkcji (zaletą jest ograniczenie czasu trwania analiz oraz możliwość stosowania względnie tanich urządzeń, które muszą być jednak przystosowane do warunków panujących w zakładzie);
- on-line – próby są automatycznie pobierane, przygotowywane i przesyłane do dedykowanego urządzenia celem analizy, przy czym sam pomiar może następować w sposób ciągły lub interwałowy.

W obrębie metod on-line istnieje możliwość przeprowadzenia analiz bez pobierania prób przy pomocy sond (metody in-line) oraz wykorzystania urządzeń o charakterze nieinwazyjnym, które niwelują ewentualne problemy wynikające z kontaktu danego aparatu z badanymi próbkami, np. jego zanieczyszczeniem [36].

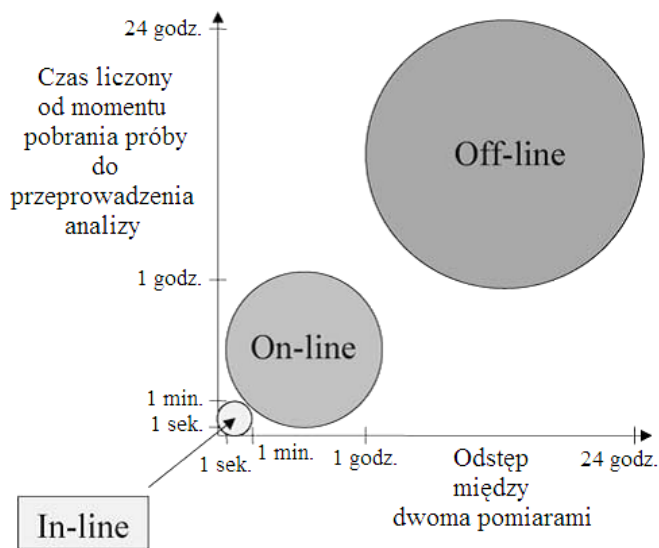
Jak podają Kueppers i Haider [33], diagnozowanie jakości surowców w procesie produkcyjnym niesie ze sobą również wymierne korzyści w postaci:

- stałego dostępu do informacji o jego przebiegu,
- natychmiastowej odpowiedzi w przypadku ewentualnych problemów,
- świadectwa jakości,
- ograniczenia zagrożeń (co jest szczególnie istotne w przypadku występowania substancji szkodliwych),
- zapobiegania stałym i ograniczania losowych błędów pomiaru.

Za stosowaniem kontroli jakości surowców bezpośrednio w zakładach produkcyjnych przemawia również znaczne skrócenie czasu trwania analiz (rys. 1).

Na rysunku 1. odstęp między dwoma pomiarami oraz czas liczony od momentu pobrania próby do przeprowadzenia analizy dla wybranych metod stosowanych w kontroli jakości surowców zostały przedstawione w postaci okręgów, obejmujących jednocześnie oba te zakresy. Jak wynika z ich usytuowania na układzie współrzędnych, najkrótszym czasem przeprowadzenia pomiarów charakteryzuje się w pełni zautomatyzowana metoda in-line (do 1 minuty), natomiast najdłuższym metoda off-line (od 1 do 24 godzin).

Należy przy tym nadmienić, że koszty zakupu oraz instalacji aparatury pomiarowej wykorzystywanej w metodach on-line i in-line znacznie przewyższają cenę sprzętu używanego w laboratoriach (metodach off-line), jednak według Hergeltha [23] ich nabycie przez zakład produkcyjny może okazać się ekonomicznie zasadne w przypadku znacznej liczby analiz koniecznych do przeprowadzenia w ciągu doby. Jak podaje wyżej cytowany autor, za implementacją metod on-line i in-line przemawia natomiast przede wszystkim zwiększenie wydajności procesu produkcyjnego oraz związane z nim ograniczenie strat surowca.



Rys. 1. Czas przeprowadzenia kontroli jakości surowców metodami off-line, on-line i in-line z uwzględnieniem odstępu między dwoma pomiarami oraz czasem liczonym od momentu pobrania próby do przeprowadzenia analizy [33]

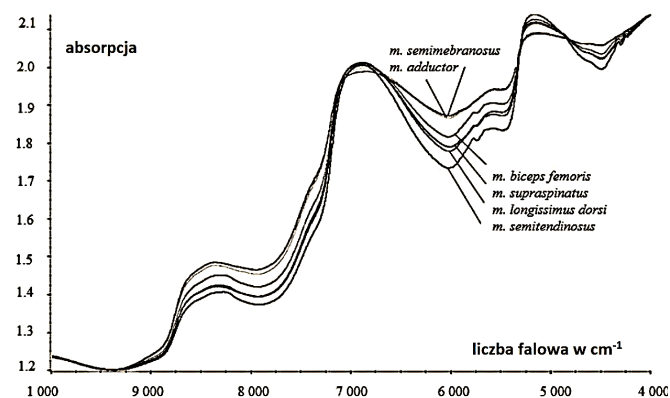
Techniki analityczne w diagnostyce jakości mięsa wieprzowego

W diagnostyce jakości surowców stosowanych jest obecnie wiele technik analitycznych, w tym: chromatografia, spektrometria mas oraz magnetyczny rezonans jądrowy (ang. Nuclear Magnetic Resonance – NMR) [36]. W przypadku diagnostyki jakości mięsa od kilkunastu lat największym zainteresowaniem, zwłaszcza w przypadku metod in-line, cieszy się spełniająca wymogi tak producentów, jak i organów ustawodawczych spektroskopia oscylacyjna, tj. spektroskopia w bliskiej podczerwieni (ang. Near Infrared – NIR) i spektroskopia Ramana [5, 33]. Samo zainteresowanie metodami diagnostycznymi wykorzystującymi spektroskopię oscylacyjną związane jest głównie z perspektywą ich całkowitego zautomatyzowania, wynikającego z braku konieczności czasochłonnego przygotowywania prób dzięki zastosowaniu światłowodów [36] oraz możliwością przeprowadzania wielu niezależnych od siebie pomiarów, które mogą być ponadto wykonywane w różnych miejscach próbki przy użyciu jednego aparatu (tzw. multiplexing) [33]. Zarówno spektroskopia w bliskiej podczerwieni, jak i spektroskopia Ramana opierają się na tym samym zjawisku fizycznym, tj. oscylacji cząsteczek, jednak różnią się od siebie zarówno sposobem ich wzbudzenia, jak i techniką pomiaru, polegającą odpowiednio na określeniu absorpcji fotonów lub rozpraszania nieelastycznego [25, 51].

Spektroskopia w bliskiej podczerwieni

Spektroskopia w bliskiej podczerwieni wykorzystuje energię fotonów od $2,65 \cdot 10^{-19}$ do $7,96 \cdot 10^{-20}$ J, która odpowiada zakresowi długości fali od 750 do 2500 nm [38], a jej widma zawierają informację dotyczącą pierwszych i drugich harmonicznych częstotliwości podstawowych wiązań wodorowych, tj. C-H, N-H, O-H, S-H i R-H [7]. Powyższe objawia się dość dużą złożonością samych spektrów, ze względu na nakładanie się szerokich pasm absorpcji, powodując tworzenie się tzw. pasm kombinacyjnych, które znacznie utrudniają przeprowadzenie dokładnej analizy jakościowej badanych surowców. Zastosowanie technik chemometrycznych umożliwia jednak ich precyzyjną analizę ilościową [36]. Do rozpowszechnienia spektroskopii w bliskiej podczerwieni jako techniki pomiarowej, po jej odkryciu przez sir Williama Herschela w 1800 roku [24], przyczynił się William Coblentz [13], który zauważył, że widma poszczególnych substancji chemicznych różnią się od siebie nawet pomimo identycznego składu pierwiastkowego, tworząc tzw. odciski palców (ang. fingerprints), a w ich

obrębie występują stale powtarzające się schemata absorpcji, np. substancje zawierające grupy –OH pochłaniają promieniowanie przy $2,7 \mu\text{m}$. Przykładowe spektra powstałe w wyniku poubojowej analizy różnych mięśni świni przy wykorzystaniu spektroskopii w bliskiej podczerwieni zostały przedstawione na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowe spektra powstałe w wyniku poubojowej analizy różnych mięśni świni przy wykorzystaniu spektroskopii w bliskiej podczerwieni [32]

Spektroskopia w bliskiej podczerwieni jako technika pomiarowa została wykorzystana najprawdopodobniej po raz pierwszy w 1912 roku przez Fowle [19] do szacowania wilgotności powietrza, jednak jej zastosowanie na szeroką skalę w przemyśle spożywczym, nie licząc znikomej liczby prób implementacji, m.in. przez Ellis i Bath [15], nastąpiło dopiero w latach 80. XX wieku [54]. Rozwój NIR w tamtym okresie umożliwiło opracowanie spektroskopów z transformacją Fouriera (ang. Fourier Transform Near Infrared Spectroscopy – FT-NIR), które ze względu na większą czułość oraz precyzję pomiaru (większy stosunek sygnału do szumu; ang. signal-to-noise ratio – SNR) niemal całkowicie zastąpiły rzadko już dziś spotykane spektroskopy dyspersyjne [21, 22]. Spektroskopia w bliskiej podczerwieni nie umożliwia jednak przeprowadzenia analizy całej powierzchni badanego surowca, a jedynie jej wybranych punktów. Powoduje to konieczność wielokrotnego powtarzania pomiarów, co nawet przy uśrednieniu ich odnotowanych wartości nie gwarantuje pełnej wiarygodności uzyskanych wyników. Co więcej, sama powierzchnia niektórych surowców nie jest strukturalnie jednolita i w przypadku mięsa wieprzowego charakteryzuje się zróżnicowanym udziałem tkanki mięśniowej, tłuszczowej i łącznej, utrudniając wykonywanie dokładnych analiz [45]. W związku z tym, dużym zainteresowaniem w diagnostyce jakości surowców cieszy się obecnie możliwość wykorzystania obrazowania wielospektralnego (ang. Hyperspectral Imaging – HI) [16].

Obrazowanie wielospektralne w połączeniu ze spektroskopią w bliskiej podczerwieni umożliwia tworzenie cyfrowych obrazów, których piksele odpowiadają widmom reprezentującym poszczególne punkty analizowanej próbki [17]. Co więcej, same pomiary nie są wykonywane przy z góry ustalonych, pojedynczych częstotliwościach, lecz w ich całkowitym, dostępnym dla spektroskopii w bliskiej podczerwieni zakresie [45]. Powstałe w ten sposób obrazy zawierają zatem informację nie tylko o rodzaju substancji zawartych w danym surowcu, lecz również ich przestrzennym rozmieszczeniu [35]. Jak podają ElMasry i wsp. [16], implementacja obrazowania wielospektralnego na szeroką skalę w metodach on-line jest jednak obecnie mało prawdopodobna, ze względu na czasochłonność wykonywanych analiz oraz konieczność obróbki danych zarówno przed, jak i po dokonaniu pomiaru. Przykłady wykorzystania różnych rodzajów spektroskopii w bliskiej podczerwieni oraz ich skuteczność diagnostyczną w szacowaniu wybranych parametrów jakości mięsa wieprzowego w mięśniu *longissimus dorsi* zostały przedstawione w tabeli.

Tabela

Przykłady zastosowań różnych rodzajów spektroskopii oscylacyjnej oraz ich skuteczność diagnostyczna w szacowaniu wybranych parametrów jakości mięsa wieprzowego wyrażona wartościami współczynnika determinacji (R_2)

Cecha	Analizowany mięsień	Technika analityczna	R_2	RMSEC	Źródło
Zawartość tłuszczu śródmięśniowego (IMF)	LD	NIR	0,96	0,40	Hu i wsp. [26]
Zawartość białka ogólnego		FT-NIR	0,63	1,03	Králová i wsp. [32]
Zawartość suchej masy			0,77	0,85	
Zawartość wody			0,65	1,02	
pH ₄₅	SM	Raman	0,82	0,11	Scheier i wsp. [47]
pH ₂₄	LD	NIR	0,71	0,08	Čandek-Potokar i wsp. [11]
			0,69	0,06	Hu i wsp. [26]
		HI-NIR	0,28-0,30	0,07	Qiao i wsp. [42]
	SM	Raman	0,88	0,10	Barbin i wsp. [6]
			0,95	0,07	Scheier i Schmidt [46]
			0,85	0,06	Scheier i wsp. [47]
L ₂₄	LD	NIR	0,58	0,04	Scheier i wsp. [48]
			0,65	2,2	Čandek-Potokar i wsp. [11]
		0,88	1,28	Hu i wsp. [26]	
	SM	Raman	0,62-0,74	1,76-2,09	Qiao i wsp. [42]
			0,94	1,32	Barbin i wsp. [6]
			0,95	0,7	Scheier i wsp. [47]
Zdolność utrzymywania wody własnej (WHC)	SM	Raman	0,90-0,96	0,23-0,27	Pedersen i wsp. [40]
Wyciek naturalny w 48 godz. post mortem	LD	NIR	0,76	1,8	Čandek-Potokar i wsp. [11]
	SM	Raman	0,83	0,4	Scheier i wsp. [48]

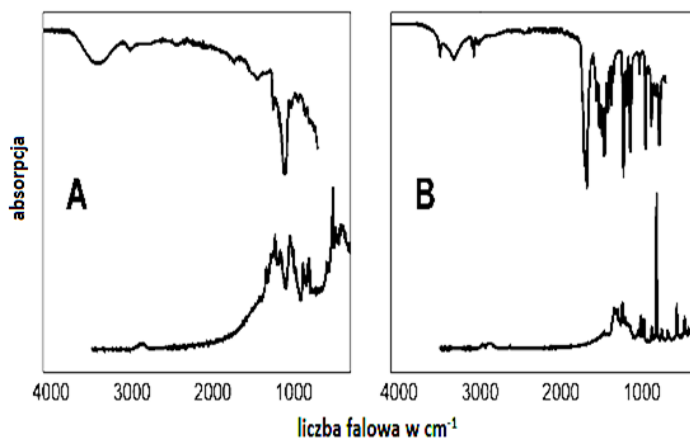
R_2 – współczynnik determinacji; RMSEC – średni błąd kwadratowy kalibracji; FT-NIR – spektroskopia w bliskiej podczerwieni z transformacją Fouriera; HI-NIR – spektroskopia w bliskiej podczerwieni wykorzystująca obrazowanie wielospektralne

Spektroskopia Ramana

Występowanie zjawiska nieelastycznego rozpraszania fotonów zostało przewidziane w 1923 roku przez Adolfa Smekala [52], jednak za jego odkrywcę uznaje się sir Chandrasekhara Ramana [43]. Istotą tzw. efektu Ramana, w przeciwieństwie do rozpraszania elastycznego (Rayleigha), są zmiany długości fal niektórych fotonów (o częstotliwość oscylacji) w momencie ich kontaktu z cząsteczkami. Powstałe w ten sposób różnice energii, zwane przesunięciami Ramana, odnotowywane zarówno w postaci jej zmniejszenia, jak i zwiększenia, mogą zostać zaobserwowane odpowiednio w postaci pasm antystokesowskich i stokesowskich. Same widma, w odróżnieniu od spektrów utworzonych wskutek promieniowania w bliskiej podczerwieni, zawierają informację o częstotliwościach drgań podstawowych cząsteczek [8, 9]. Ponadto, w odróżnieniu od spektroskopii w bliskiej podczerwieni, wzbudzenie nie następuje wskutek zmiany momentu dipolowego, lecz polaryzowalności, co umożliwia analizę spektralną związków chemicznych zawierających grupy składające się z tych samych atomów, np. S-S, C=C, C≡C, C≡N [39]. W związku z powyższym, analiza jakości surowców zawierających znaczną ilość wody (np. mięsa wieprzowego) wykorzystująca spektroskopię Ramana pozbawiona jest trudności związanych z interpretacją pasm kombinacyjnych występujących w widmach powstałych przy wykorzystaniu spektroskopii w bliskiej podczerwieni [49]. Przykładowe spektra tych samych związków chemicznych występujących w mięsie wieprzowym (glikogenu i kwasu mlekowego) utworzone przy wykorzystaniu spektroskopii w bliskiej podczerwieni z analizą Fouriera i spektroskopii Ramana zostały przedstawione na rysunku 3.

Kolejną różnicą jest wykorzystywanie światła monochromatycznego o szerokim zakresie długości fal, tj. od światła widzialnego (VIS) do promieniowania w bliskiej podczerwieni (NIR), a nie wiązek polichromatycznych [51]. Za implementacją spektroskopii Ramana w analizie surowców w procesie produkcyjnym przemawia również możliwość tworzenia poręcznych, wytrzymałych i energooszczędnych urządzeń pomiarowych o stosunkowo prostej konstrukcji i niskiej cenie [46]. Spektroskopia Ramana, podobnie jak spektroskopia w bliskiej podczerwieni, oprócz wielu aplikacji w przemyśle spożywczym, takich jak: określanie stopnia nienasylenia olejów i zawartości izomerów cis i trans w margarynach [44], zawartości amylozy w skrobi [3] i melaminy w mleku w proszku [12], znalazła również swoje zastosowanie w diagnostyce jakości mięsa wieprzowego, którego przykłady przedstawiono w tabeli. Należy przy tym nadmienić, że rozpowszechnienie spektroskopii Ramana jako techniki diagnostycznej mogło nastąpić dopiero wskutek wynalezienia lasera w latach 70. XX wieku, oraz

że widma utworzone na jej podstawie charakteryzowały się początkowo znaczną niedokładnością, wynikającą z fluorescencji analizowanych surowców. Rozwiązaniem tego problemu było wykorzystanie lasera w zakresie promieniowania w bliskiej podczerwieni do wzbudzenia cząstek, które wskutek wyeliminowania wyżej wspomnianego zjawiska fluorescencji znacznie poprawiło dokładność tworzonych widm [50].



Rys. 3. Widma glikogenu (A) i kwasu mlekowego (B) utworzone przy wykorzystaniu spektroskopii w bliskiej podczerwieni z analizą Fouriera (wyższe) i spektroskopii Ramana (niższe) mięśnia *longissimus dorsi* świni [40]

Przedstawione przykłady zastosowań spektroskopii oscylacyjnej, tj. spektroskopii w bliskiej podczerwieni (NIR) oraz spektroskopii Ramana, wskazują na możliwość ich bezpośredniego wykorzystania w warunkach produkcyjnych zakładów mięsnych. Jak podaje Huck [27], samo rozpowszechnienie się spektroskopii oscylacyjnej jest coraz bardziej prawdopodobne również ze względu na fakt szybko postępującej i wręcz nieuchronnej miniaturyzacji sprzętu elektronicznego, która w przypadku metod on-line, oprócz możliwości ich implementacji na szeroką skalę będzie przekładała się ponadto na zwiększanie dokładności wykonywanych analiz. Według cytowanego autora, wspomniany potencjał spektroskopii oscylacyjnej będzie powodował stały wzrost jej atrakcyjności, czyniąc ją realną konkurencją dla aktualnie wykorzystywanych metod diagnostycznych. Istotnym zagadnieniem może się wydawać możliwość włączenia spektroskopii oscylacyjnej do prac hodowlanych, np. jako narzędzia do selekcji genotypów. Na przykład w badaniach Josell i wsp. [29] frekwencja genu RN⁺ wśród blisko stu przeanalizowanych tuczników wykorzystujących rasę hampshire jako komponent ojcowski została niemal całkowicie prawidłowo oszacowana na podstawie spektroskopii w bliskiej podczerwieni. Należy jednak nadmienić, że niezależnie od wymienionych zalet stosowania spektroskopii oscylacyjnej największym problemem utrudniającym jej powszechne wykorzystanie w przemyśle mięsnym pozostaje stale wysoki koszt, związany z zakupem oraz instalacją odpowiedniej aparatury pomiarowej [36].

Literatura: 1. **Abdullah M.Z., Guan L.C., Lim K.C., Karim A.A.**, 2004 – The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. *J. Food Engineering* 6, 125-135. 2. **Alcalde M.J., Ripoll G., Panea B.**, 2013 – Consumer attitudes towards meat consumption in Spain with special reference to quality marks and kid meat. *Consumer attitudes to food quality products*. EAAP, 133, 97-107. Wageningen Academic Publishers. 3. **Almeida M.R., Alves R.S., Nascimbem L.B.L.R., Stephani R., Poppi R.J., de Oliveira L.F.C.**, 2010 – Determination of amylose content in starch using Raman spectroscopy and multivariate calibration analysis. *Anal. Bioanal. Chem.* 397, 2693-2701. 4. **Andersen H.J.**, 2000 – What is pork quality? Quality of meat and fat in pigs is affected by genetics and nutrition. *EAPP*, 100, 15-26. Zürich, Switzerland. 5. **Andersen P.V., Veiseth-Kent E., Wold P.J.**, 2017 – Analyzing pH-induced changes in a myofibril model system with vibrational and fluorescence spectroscopy. *Meat Sci.* 125, 1-9. 6. **Barbin D.F., ElMasry G., Sun D.W., Allen P.**, 2012 – Predicting quality and sensory attributes of pork using near-infrared hyperspectral imaging. *Anal. Chim. Acta* 719, 30-42. 7. **Barton F.E. II**, 2002 – Theory and principles of near infrared spectroscopy. *Spectroscopy Europe* 14, 1, 12-18. 8. **Bell S.E.J., Boyd A.R.**, 2002 – Raman Spectroscopy – An Overview of its Application and Potential for Live Sciences. *Business Briefing: Life Sciences Technology*. World Markets Research Centre Ltd, 1-5. 9. **Berhe D.T., Eskildsen C.E., Lametsch R., Hviid M.S., van den Berg F., Engelsen S.B.**, 2016 – Prediction of total fatty acid parameters and individual fatty acids in pork backfat using Raman spectroscopy and chemometrics: Understanding the cage of covariance between highly correlated fat parameters. *Meat Sci.* 111, 18-26. 10. **Breidenstein B.C., Williams J.C.**, 1987 – Contribution of red meat to the US diet. Chicago: National Live Stock and Meat Board. 11. **Čandek-Potokar M., Prevolnik M., Škrlep M.**, 2006 – Ability of near infrared spectroscopy to predict pork technological traits. *J. Near Infrared Spectroscopy* 14, 269-277. 12. **Cheng Y., Dong Y.Y., Wu J.H., Yang X.R., Bai H., Zheng H.Y., Ren D.M., Zou Y.D., Li M.**, 2010 – Screening melamine adulterant in milk powder with laser Raman spectrometry. *J. Food Comp. Anal.* 23, 199-202. 13. **Coblentz W.W.**, 1905 – Investigations of Infrared Spectra Part 1. Publication No. 35, Carnegie Institute of Washington. 14. **Deutscher Fleisch-Verband**, 2003. Geschäftsbericht 2002/2003, October, Frankfurt, Germany. 15. **Ellis J.W., Bath J.**, 1938 – Modifications in near infrared absorption spectra of protein and of light and heavy water molecules when water is bound to gelatin. *J. Chem. Physics* 6, 723. 16. **El-Masry G., Sun D.W., Allen P.**, 2011 – Non-destructive determination of water-holding capacity in fresh beef by using NIR hyperspectral imaging. *Food Res. Int.* 44, 2624-2633. 17. **ElMasry G., Wold J.P.**, 2008 – High-speed assessment of fat and water content distribution in fish fillets using online imaging spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 56 (17), 7672-7677. 18. **Fischer K.**, 2007 – Drip loss in pork: influencing factors and relation to further meat quality traits. *J. Anim. Breed. Gen.* 124, suppl. 1, 12-18. 19. **Fowle F.E.**, 1912 – The spectroscopic determination of aqueous vapour. *Astrophysical J.* 35, 149-162. 20. **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 Sci.* 66, 259-272. 21.

Gunzler H., Gremlich H.U., 2002 – IR spectroscopy. An introduction. Wiley-VCH, Weinheim. 22. **Handke M., Paluszkiwicz C.**, 1998 – Metody i Techniki Pomiarowe w Spektroskopii Oscylacyjnej. Wyd. „Akapi”, Kraków. 23. **Hergeth W.D.**, 2014 – Encyclopedia of Industrial Chemistry. Ullmann's Academy. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 1-3. 24. **Herschel W.**, 1800 – Experiments on the Refrangibility of the invisible Rays of the Sun; *Philosophical Transactions of the Royal Society* 90, 284-292. 25. **Herzberg G.**, 1945 – Molecular Spectra and Molecular Structure: II, Infrared and Raman Spectra of Polyatomic Molecules. Van Nostrand Reinhold, New York. 26. **Hu Y., Guo K., Suzuki T., Noguchi G., Satake T.**, 2008 – Quality evaluation of fresh pork using visible and near-infrared spectroscopy with fiber optics in intercalance mode. *Am. Soc. Agric. Biol. Engineers* 51 (3), 1029-1033. 27. **Huck C.W.**, 2017 – Selected latest applications of molecular spectroscopy in natural product analysis. *Phytochem. Letters* 20, 491-498. 28. **Jaworska D., Przybylski W., Kolożyn-Krajewska D., Czarniecka-Skubina E., Wachowicz I., Trzaskowska M., Kajak K., Lech A., Niemyjski S.**, 2006 – The assessment of relationships between characteristics determining technological and sensory quality of pork. *Anim. Sci. Pap. Rep.* 24, 2, 121-135. 29. **Josell A., Martinsson L., Borggaard C., Andersen J.R., Tornberg E.**, 2000 – Determination of RN⁺ phenotype in pigs at slaughter-line using visual and near-infrared spectroscopy. *Meat Sci.* 55, 273-278. 30. **Koćwin-Podsiadła M.**, 1998 – Zestawienie efektów genów głównych Hal¹ i RN⁺ w zakresie jakości wieprzowiny. *Prace Mat. Zoot.* 52, 43-50. 31. **Koćwin-Podsiadła M., Krzęcio E., Przybylski W.**, 2006 – Pork quality and methods of its evaluation – a review. *Polish J. Food Nutr. Sci.* 15/56, 3, 241-248. 32. **Králková M., Procházková Z., Saláková A., Kameník J., Vorlová L.**, 2015 – Determination of meat quality by near-infrared spectroscopy; *MASO Int. J. Food Sci. Technol.* 1, 39-43. 33. **Kueppers S., Haider M.**, 2003 – Process analytical chemistry – future trends in industry. *Anal. Bioanal. Chem.* 376, 313-315. 34. **Luong J.H.T., Bouvrette P., Male K.B.**, 1997 – Developments and application of biosensors in food analysis. *Tibtech innovations* 15, 369-377. 35. **Manley M.**, 2014 – Near-infrared spectroscopy and hyperspectral imaging: non-destructive analysis of biological materials. *Chem. Soc. Rev.* 43, 8200-8214. 36. **McGill C.**, 2005 – Process Analysis. Encyclopedia of analytical science. P. Worsfold, A. Townshend, C. Poole (eds.), Elsevier Ltd, 298-302. 37. **Otto G., Knap P.W., Roehe R., Looft H., Caverro D., Kalm E.**, 2007 – Different approaches of estimating economical values for drip loss as log normally distributed trait. *Livestock Sci.* 112, 43-51. 38. **Pasquini C.**, 2003 – Near Infrared Spectroscopy: Fundamentals, Practical Aspects and Analytical Applications. *J. Brazilian Chem. Soc.* 14, 2, 198-219. 39. **Patel D.B., Mehta P.J.**, 2010 – An Overview – Application of Raman Spectroscopy in Pharmaceutical Field. *Current Pharm. Anal.* 6, 131-141. 40. **Pedersen D.K., Morel S., Andersen H.J., Engelsen S.B.**, 2003 – Early prediction of water-holding capacity in meat by multivariate vibrational spectroscopy. *Meat Sci.* 65, 581-592. 41. **Pisula A., Florowski T., Tyburcy A.**, 2004 – Czynniki decydujące o jakości mięsa kulinarnego i przerobowego. *Przeg. Hod. 9*, 5-11. 42. **Qiao J., Wang N., Ngadi M.O., Gunenc A., Monroy M., Gariépy C., Prasher S.O.**, 2007 – Prediction of drip-loss, pH, and color for pork using a hyperspectral imaging technique. *Meat Sci.* 76, 1-8. 43. **Raman C.V., Krishnan K.S.**, 1928 – A new type of secondary radiation. *Nature* 121, 3048, 501-50. 44. **Sadeghi-Jorabchi H., Hendra P.J., Wilson R.H., Belton P.S.**, 1990 – Determination of total unsaturation in oils and margarines by Fourier transform Raman spectroscopy. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 67, 483-486. 45. **Scheier R.**, 2014 – Early postmortem determination of porcine meat quality using Raman spectroscopy. *Rozprawa doktorska*. Bayreuth, D73. 46. **Scheier R., Schmidt H.**, 2013 – Measurement of the pH value in pork meat early *post mortem* by Raman spectroscopy. *Applied Physics B: Lasers and Optics* 111, 289-297. 47. **Scheier R., Bauer A., Schmidt H.**, 2014 – Early Postmortem Prediction of Meat Quality Traits of Porcine Semimembranosus Muscles Using a Portable Raman System. *Food Bioprocess Technol.* 7, 2732-2741. 48. **Scheier R., Scheeder M., Schmidt H.**, 2015 – Prediction of pork quality at the slaughter line using a portable Raman device. *Meat Sci.* 103, 96-103. 49. **Schmidt H., Sowoidnich K., Kronfeldt H.D.**, 2010 – A Prototype Hand-held Raman Sensor for the *in Situ* Characterization of Meat Quality. *Soc. Appl. Technol.* 64, 8, 888-894. 50. **Sheppard N.**, 2002 – The Historical Development of Experimental Techniques in Vibrational Spectroscopy. *Handbook of Vibrational Spectroscopy* vol. 1 – Theory and Instrumentation. Chalmers J.M., Griffiths P.R. (eds.), Wiley Publishing. 51. **Siesler H.W.**, 2008 – Basic Principles of Near-Infrared Spectroscopy. *Handbook of Near-Infrared Analysis* 3rd Edition. Burns D.A., Ciurczak E.W. (eds). CRC Press. 52. **Smekal A.**, 1923 – Zur Quantentheorie der Dispersion. *Die Naturwissenschaften* 11, 43, 873-875. 53. **Verbeke V., Frewer L.J., Scholderer J., de Brabander H.F.**, 2007 – Why consumers behave as they do with respect to food safety and risk information. *Anal. Chim. Acta*, 586, 2-7. 54. **Williams P.C., Norris K.H., Zarowski W.S.**, 1982 – Influence of temperature on estimation of protein and moisture in wheat by near-infrared reflectance. *Cereal Chem.* J. 59, 473-480.