

doi:10.15199/48.2023.02.55

Charakterystyka ultrasłabej emisji fotonowej z substratów do produkcji czekolady oraz wyrobów końcowych

Streszczenie. Emisją fotonów nazywa się zjawisko emisji ultraniskiego promieniowania elektromagnetycznego przez organizmy żywe. Pomiar pojedynczych fotonów emitowanych przez produkt może być stosowany jako alternatywa dla tradycyjnej metody analizy jakości żywności. Badania polegały na wyznaczeniu charakterystyk emisyjnych poszczególnych fotonów emitowanych z substratów do produkcji czekolady i produktów końcowych. Pomiar przeprowadzono z wykorzystaniem autorskiego systemu pomiarowego, który pozwala na rejestrację pojedynczych fotonów emitowanych z surowców i produktów biologicznych różnego typu.

Abstract. Photon emission is the phenomenon of the emission of ultra-low electromagnetic radiation by living organisms. Measurement of single photons emitted by a product can be used as an alternative to the traditional method of food quality analysis. The research consisted in determining the emission characteristics of individual photons emitted from the substrates for the production of chocolate and end products. The measurements were carried out with the use of a proprietary measurement system that allows the registration of single photons emitted from raw materials and biological products of various types. (**Characteristics of the low photon emission from the ingredients of chocolate and finished products**).

Słowa kluczowe: ultrasłaba emisja fotonowa, żywność, jakość

Keywords: ultra-weak photon emission, food, quality

Wstęp

Dzięki zawartości flawonoidów pochodzenia roślinnego, a zwłaszcza epikatechiny należącej do grupy polifenoli, spożywanie czekolady pozytywnie wpływa na zdrowie człowieka [1, 2]. Czekolada ciemna, zawierająca większe ilości kakao, charakteryzuje się wyższym stężeniem polifenoli, niż czekolada mleczna czy biała [3]. Na tej podstawie uznaje się, że czekolada gorzka jest zdrowsza niż jej mleczne odpowiedniki. Pozytywny związek flawonoidów na organizm zachodzi poprzez działanie mechanizmów: produkcji tlenu azotu, działania antyoksydacyjnego, przeciwpłytkowego, przeciwzapalnego, spadku poziomu lipidów, a także redukcji insulinooporności [4]. Kolejnym wartościowym składnikiem czekolady jest tryptofan i powstająca z niego serotonina. Czekolada z zawartością 85% kakao posiada więcej serotoniny – 2,9 mikrograma na gram, natomiast czekolada z zawartością 70-85% kakao bogatsza jest w jej prekursor – tryptofan – 13,3 mikrograma na gram [5]. Ciemna czekolada oprócz wprowadzania serotoniny zawartej w swoim składzie podnosi również jej poziom w organizmie, przez cukry, które pobudzają tkanki do jej produkcji. Serotonina jest ponadto aminą biogenną, popularnie nazywaną „hormonem szczęścia” [6]. Jest też neuroprzekaznikiem pełniącym wiele funkcji w centralnym układzie nerwowym, m.in. reguluje ośrodek głodu, sen, nastrój, procesy pamięci i uczenia, dlatego jej niedobór może być przyczyną zachorowania na depresję [7].

Zjawisko emisji fotonowej oznacza zdolność organizmów żywych do emitowania przez nie ultrasłabego promieniowania elektromagnetycznego. Emisja fotonów nie jest widoczna bez użycia fotopowielaczy, bo chociaż fotony emitowane są w zakresie widzialnym, to emisja ta jest niższa niż próg energetyczny czułości ludzkiego oka. Pomiar pojedynczych fotonów emitowanych przez produkt może być wykorzystywany jako alternatywa do tradycyjnych metod analizy jakości żywności. Tradycyjne metody oceny jakości surowców, oparte na analizie zawartości określonych substancji chemicznych i ocenie organoleptycznej, nie definiują bowiem jakości w sposób precyzyjny i obiektywny. Podejmowane są więc próby opracowania metody pozwalającej na dokładną ocenę standardu produktów żywnościowych. Choć liczne badania [8, 9, 10, 11, 12] potwierdziły zależność jakości produktów

biologicznych od zgromadzonej w nich energii świetlnej należy pokreślić, że jako pierwszy, koncepcję wykorzystania emisji promieniowania żywych organizmów (bioluminescencji) do oceny jakości żywności opracował F.A. Popp [9]. Zaproponowana przez niego metoda polega na pojedynczym zliczaniu fotonów (ang. *Single Photon Counting*). Według Poppa, poziom emisji fotonów bardzo dokładnie odzwierciedla stan organizmu, tak więc jakość żywności zależy od zgromadzonej w niej energii świetlnej w postaci fotonów. W swoich wieloletnich badaniach wykazał, że produkty żywnościowe najwyższej jakości mają większą zdolność do kumulowania światła [9] i charakteryzują się wysokim poziomem emisji fotonów. Na przykładzie różnych surowców i artykułów żywnościowych udowodniono, że produkty zdrowsze charakteryzowały się większą emisją fotonów [13-16].

Cel badań

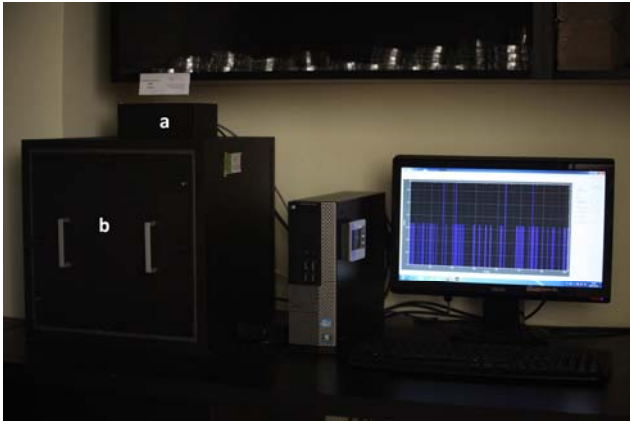
Celem badań było określenie poziomu emisji fotonów z substratów do produkcji czekolady gorzkiej (tj. miazgi z ziaren kakaowca i cukru) oraz z gotowych wyrobów powstałych z badanych składników. Zakres pracy obejmował badanie ultrasłabej emisji fotonowej z ziaren kakaowca dwóch odmian, cukru oraz powstałych z tych składników czekolad o różnej zawartości miazgi kakaowej (70%, 80%, 90%), a także statystyczną analizę otrzymanych wyników. Wyniki badań posłużyły do weryfikacji hipotezy badawczej, że zawartość miazgi kakaowej, która świadczy o poziomie zdrowotności czekolady, może być przewidywana na podstawie liczby fotonów emitowanych z czekolady.

Podjęto również próbę oceny możliwości wykorzystania zebranych danych do rozwiązania problemu: (1) klasyfikacji czekolad ze względu na zawartość miazgi kakaowej jedynie na podstawie wiedzy o poziomie emitowanych przez próbkę fotonów oraz (2) predykcji procentowej zawartości miazgi kakaowej na podstawie wiedzy o poziomie emitowanych przez próbkę fotonów.

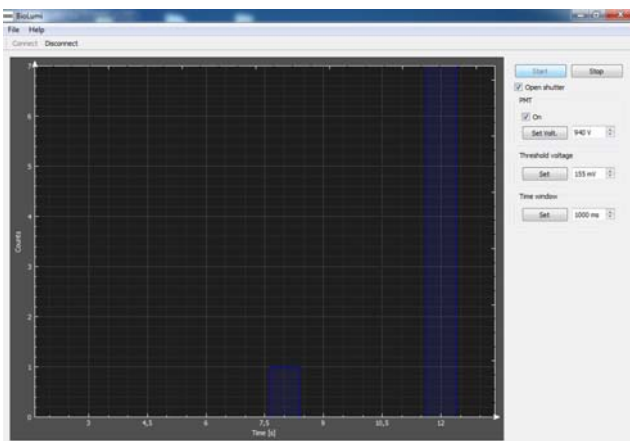
Metodyka

Do przeprowadzenia badań został wykorzystany autorski układ pomiarowy, przedstawiony na rysunku 1, pozwalający na rejestrację oraz zliczanie uwalnianych fotonów z badanej próbki. Urządzenie składa się z komory pomiarowej i

wbudowanego fotopowielacza, dzięki któremu realizowany jest pomiar emisji fotonów. Produkt umieszczany był w stabilizowanej termicznie komorze. Fotony wytwarzane przez badany materiał były zamieniane na impulsy elektryczne za pomocą fotopowielacza (PMT). Licznik sumował impulsy elektryczne zamienione na impulsy logiczne, które są następnie zliczane w liczniku [15]. Interfejs oprogramowania umożliwia obserwację ilości fotonów emitowanych w zadanej jednostce czasu w czasie rzeczywistym (rys. 2).



Rys.1. Układ pomiarowy: a – fotopowielacz, b- komora pomiarowa, c – interfejs, d – komputer, e – oprogramowanie BioLumi



Rys.2. BioLumi - Program rejestrujący liczbę fotonów emitowanych z analizowanych produktów żywnościowych umieszczonych w komorze pomiarowej

Eksperyment przeprowadzono w wyizolowanym pod względem oświetlenia pomieszczeniu w laboratorium zamkniętym, w którym temperatura powietrza wynosiła 21°C, a wilgotność względna 42%.

Materiał poddany badaniu stanowiły prażone ziarna kakaowca i cukier, które posłużyły również do wytworzenia czekolad o zróżnicowanej zawartości miazgi kakaowej (tj. 70, 80 i 90% zawartości w masie produktu końcowego).

Badania polegały na zliczeniu pojedynczych fotonów emitowanych z próbek zmielonych substratów oraz próbek gotowych czekolad gorzkich. Materiał do badań został uprzednio poddany stabilizacji termicznej oraz świetlnej w warunkach określonych w akredytowanej procedurze badawczej PB-01 wyd. 5 z dnia 20.02.2020. Materiał rozdrobniono, a następnie przygotowano po dwadzieścia próbek ziaren kakaowca, cukru i każdej z wytworzonych czekolad o masie 5 [g] ($\pm 0,1$ [g]) każda. Całkowity czas pomiaru wynosił każdorazowo 600 [s] przy częstotliwości detekcji 0,8 [Hz].

Do wyznaczenia ultrasłabej emisji fotonowej wykorzystano metodę zliczania pojedynczych fotonów. Analiza procesu przetwarzania informacji (danymi wejściowymi jest ilość fotonów zidentyfikowanych przez fotopowielacz, a danymi wyjściowymi – sumaryczna liczba fotonów z zadanego interwału czasowego) następuje przy odpowiednich ustawieniach systemu pomiarowego. Wynik pomiaru ultrasłabej emisji fotonowej stanowi bezwzględną różnicę między liczbą fotonów zarejestrowanych przez fotopowielacz w komorze z materiałem i liczbą fotonów zarejestrowanych przez fotopowielacza w komorze światłoszczelnej bez materiału, wg zależności $L=A-B$ [foton/jednostkę czasu], gdzie: L – liczba fotonów emitowanych przez badaną próbkę, A - liczba fotonów emitowana przez próbkę umieszczoną w komorze światłoszczelnej, B - liczba fotonów emitowana przez pustą komorę światłoszczelną.

Przed badaniem emisyjności fotonów wykonano kalibrację czujnika, co zawsze ma miejsce w dniu wykonywania pomiarów i polega na wyznaczeniu stosunku odpowiedzi układu na zadaną dawkę promieniowania według zależności:

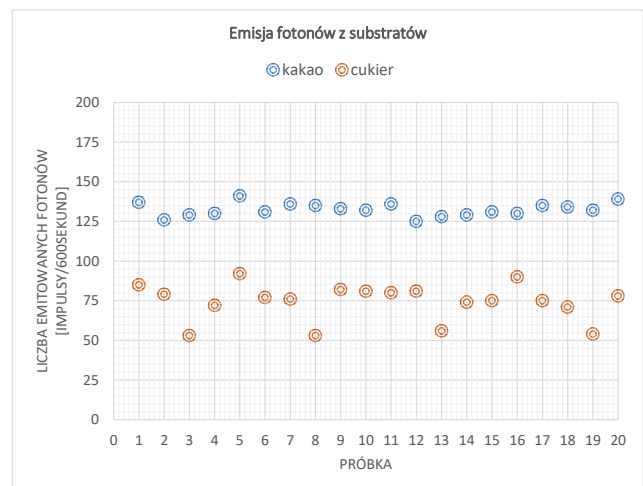
$$K = \frac{M - M_0}{D}$$

gdzie: K – współczynnik kalibracji, M - średnia z odczytu partii detektorów naświetlonych w jednakowych warunkach, M_0 - średnia z odczytu tła, D – znana dawka użyta do kalibracji (300 fotonów).

Ponieważ współczynnik kalibracji mieścił się w przedziale $<0,8 ; 1>$, układ pomiarowy uznano za sprawny i gotowy do wykonywania pomiarów.

Wyniki badań emisji fotonowej

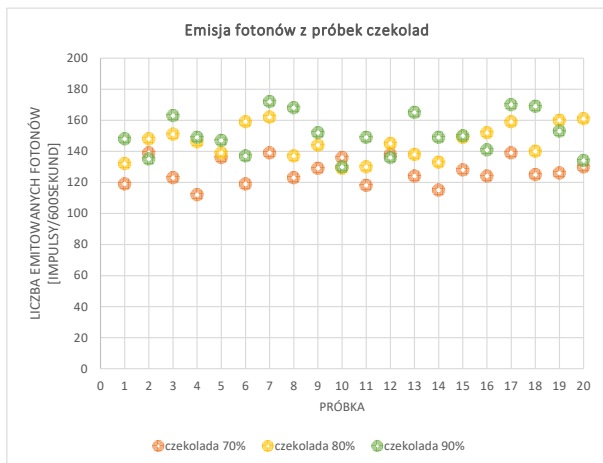
Wykres na rysunku 3 przedstawia średnie wartości emisji fotonowej z próbek ziaren kakaowca i cukru.



Rys.3. Liczba fotonów emitowanych przez badane próbki ziaren kakaowca oraz cukru

Liczba fotonów (wyrażanych w impulsach/600sekund) emitowanych przez próbki ziaren kakaowca wynosiła średnio 132 (z odchyleniem standardowym 4 impulsy/600 sekund), a przez próbki cukru – średnio 74 (z odchyleniem standardowym 11 impulsów/600 sekund). Współczynnik zmienności dla wyników emisji fotonowej z próbek ziaren kakaowca wynosi 3%, co oznacza, że szereg ten jest bliski jednorodności. Z kolei współczynnik zmienności dla wyników emisji fotonowej cukru wynosi 15%.

Wykres na rysunku 4 przedstawia średnie wartości emisji fotonowej z próbek wytworzonych czekolad.



Rys.4. Liczba fotonów emitowanych przez badane próbki czekolad

Próbki czekolad gorzkich o zawartości miazgi kakaowej 70% emitowały średnio 127 impulsów/600sek (z odchyleniem standardowym 8 impulsów/600 sekund), próbki czekolady o zawartości miazgi 80% - 146 impulsów/600 sekund (z odchyleniem standardowym 11 impulsów/600 sekund), a próbki czekolady o zawartości miazgi 90% - 151 impulsów/600 sekund (z odchyleniem standardowym 13 impulsów/600 sekund).

Zmienność wyników wynosiła kolejno: 6% dla wyników emisji z próbek czekolady 70%, 7% dla wyników emisji z próbek czekolady 80%, i 9% dla wyników emisji z próbek czekolady 90%.

Nie stwierdzono istotnej korelacji pomiędzy liczbą fotonów emitowanych z poszczególnych substratów, a liczbą fotonów emitowanych przez próbki czekolad.

Podjęto jednak próbę zastosowania sztucznych sieci neuronowych do rozwiązania dwóch problemów: do klasyfikacji czekolady pod względem zawartości miazgi kakaowej na podstawie znajomości liczby fotonów emitowanych przez próbkę oraz do predykcji liczby fotonów emitowanych przez próbkę czekolady na podstawie liczby fotonów emitowanych przez próbki ziarna kakaowca oraz próbki cukru.

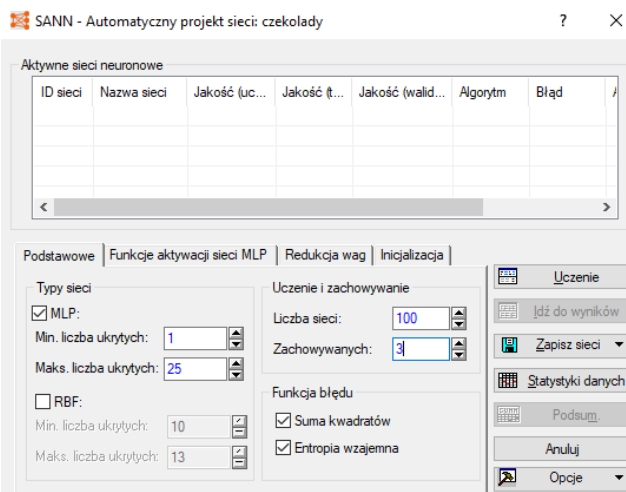
Wyniki symulacji

Sprawdzono możliwość zastosowania sztucznych sieci neuronowych do rozwiązania dwóch problemów: (1) klasyfikacji czekolad ze względu na zawartość miazgi kakaowej oraz (2) predykcji procentowej zawartości miazgi kakaowej. Oba modele symulacyjne opierały się na tych samych danych wejściowych, tj. zmierzonych wartości emisji fotonowej z przebadanych próbek.

Do przeprowadzenia symulacji opracowana została baza danych zawierająca 60 wyników emisji fotonowej wraz z przyporządkowaną do nich wartością procentowej zawartości miazgi kakaowej. Opracowanie neuronowego modelu wymagało, w pierwszej kolejności, wyznaczenia optymalnej architektury sieci. Pod pojęciem optymalizacji struktury sieci rozumiane jest nie tylko ustalenie liczby neuronów w warstwie wejściowej, ale również ustalenie typu sieci neuronowej, liczby warstw oraz liczby neuronów w warstwach ukrytych. Odpowiedni dobór tej struktury pozwala m.in. na osiągnięcie najlepszych wyników uczenia opracowanego modelu. Zaprojektowana sieć rozwiązująca problem klasyfikacji składała się z jednego neuronu dla każdego wektora warstwy wejściowej i trzech neuronów w warstwie wyjściowej. Z kolei zaprojektowana sieć rozwiązująca problem predykcji składała się z jednego neuronu dla każdego wektora warstwy wejściowej i jednego neuronu w warstwie wyjściowej. Należało jednak określić

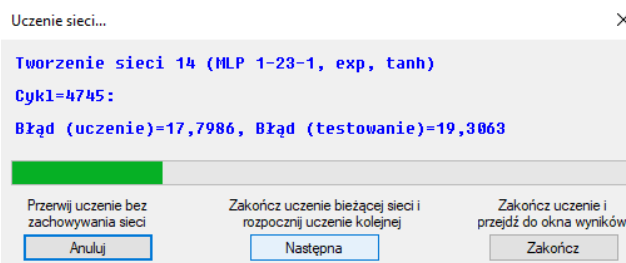
liczbę warstw oraz liczby neuronów w warstwach ukrytych. Cel ten zrealizowano poprzez zastosowanie modułu automatycznego projektanta sieci (rysunek 5), będącego częścią pakietu Statistica Neural Networks StatSoft [17 - 20].

Uwzględniając analizę literatury przedmiotu [17-23] stwierdzono, że do przedstawionego w artykule problemu najbardziej przydatne będą: sieć typu perceptron wielowarstwowy – MLP (ang. Multilayer Perceptron) oraz sieć o radialnych funkcjach bazowych – RBF (ang. Radial Basis Function). Utworzono więc 100 sieci typu MLP oraz 100 sieci typu RBF. Założono minimalną liczbę neuronów w warstwie ukrytej równą 1 i maksymalną liczbę neuronów w warstwie ukrytej równą 25.



Rys.5. Okno modułu automatycznego projektanta sieci z pakietu Statistica Neural Networks StatSoft

Po procesie uczenia (rysunek 6) wybrano sieci o najlepszych wynikach.



Rys.5. Okno modułu automatycznego uczenia sieci neuronowych

Po przeanalizowaniu różnych struktur sieci neuronowej stwierdzono empirycznie, że w rozwiązaniu problemu klasyfikacji, najlepsze wyniki uczenia osiągnęła sieć MLP o 7 neuronach w warstwie ukrytej (sieć MLP 1–7–3). Wybrana sieć osiągnęła jakość uczenia równą niespełna 70% (69,1%), przy wykorzystaniu algorytmu uczenia BFGS i wyjściowej funkcji aktywacji softmax.

W rozwiązaniu problemu predykcji, najlepsze wyniki uczenia osiągnęła sieć RBF o 16 neuronach w warstwie ukrytej (sieć RBF 1–16–1). Wybrana sieć osiągnęła jakość uczenia równą niespełna 80% (78,2%), przy wykorzystaniu algorytmu uczenia RBFT i wyjściowej liniowej funkcji aktywacji.

Obliczone wskaźniki oceny skuteczności analizowanych sieci neuronowych zamieszczono w tabeli 1 i 2.

Tabela 1. Wskaźniki jakości analizowanych sieci neuronowych

	Jakość [%]			Średnia jakość [%]
	uczenia	testowania	walidacji	
Sieć klasyfikująca	69,1	66,7	22,2	52,7
Sieć predykcyjna	78,2	87,5	94,4	86,7

Tabela 2. Wskaźniki błędów analizowanych sieci neuronowych

	Błąd [%]			Średni błąd [%]
	uczenia	testowania	walidacji	
Sieć klasyfikująca	30,9	33,3	77,8	47,3
Sieć predykcyjna	21,8	12,5	5,6	13,3

Średnia jakość sieci rozwiązującej problem klasyfikacji czekolad pod względem zawartości miazgi kakaowej wynosiła 52,7%, a sieci rozwiązującej problem predykcji zawartości miazgi kakaowej – 86,7%. Odpowiednio więc, średnie wskaźniki błędów dla tych sieci wynosiły 47,3% i 13,3%. Na podstawie zamieszczonych wyników można wnioskować, że klasyfikacja czekolad pod względem zawartości kakao, na podstawie danych o poziomie emisji fotonowej obciążona jest dużym błędem, wynoszącym niemal 50%.

Obliczono przedziały ufności dla średniej skuteczności badanych sieci klasyfikacyjnych, z założonym prawdopodobieństwem 95%. Z prawdopodobieństwem $P=95\%$, rzeczywista skuteczność sieci klasyfikującej znajdzie się w przedziale $<54,51\%; 56,96\%>$.

Jakość uczenia, testowania i walidacji wybranej sieci predykcyjnej osiągnęła zadowalający poziom. Jednak obliczone przedziały ufności wskazują, że z prawdopodobieństwem $P=95\%$, rzeczywista skuteczność takiej sieci predykcyjnej znajdzie się w przedziale $<64,47\%; 67,58\%>$. Nie można więc wnioskować, że na podstawie danych o emisji fotonowej, można z dużym prawdopodobieństwem wnioskować o zawartości miazgi kakaowej w badanej czekoladzie.

Podsumowanie

Celem badań było porównanie emisji fotonów przez próbki zmielonych ziaren kakaowca, cukru oraz czekolad o zmiennej zawartości miazgi kakaowej (70, 80 i 90%), wytworzonych z badanych substratów.

Przeprowadzone doświadczenie potwierdza, że każdy z badanych surowców i produktów charakteryzuje się pewną emisyjnością fotonów. Najwyższe wartości emisji fotonowej odnotowano dla czekolady o zawartości miazgi kakaowej wynoszącej 90%, a najniższe dla próbek cukru. Zaobserwowane zróżnicowanie między otrzymanymi wynikami mogą być wynikiem charakterystyki struktury jej elementów składowych (np. zawartości substancji prozdrowotnych) lub zdolności tych produktów do kumulowania światła wewnątrz struktur komórek. Analizowane modele neuronowe, zastosowane do rozwiązania problemu klasyfikacji i predykcji, nie osiągnęły zadowalających jakości. Należy jednak zwrócić uwagę na stosunkowo niewielki zbiór danych wykorzystanych do uczenia, testowania i walidacji tych sieci.

Autorzy: dr inż. Karolina Trzyniec, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków, E-mail: karolina.trzyniec@urk.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Manach C., Scalbert A., Morand C. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability, *The American Journal of Clinical Nutrition*.
- [2] Richelle M., Tavazzi I., Enslin M., Offord E. 1999. Plasma kinetics in man of epicatechin from black chocolate. *European Journal of Clinical Nutrition*.
- [3] Miller K., Stuart D., Smith N. 2006. Antioxidant activity and polyphenol and procyanidin contents of selected commercially available cocoa-containing and chocolate products in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- [4] Ding E., Hutfless S., Ding X., Girotra S. 2006. Chocolate and prevention of cardiovascular disease: a systematic review. *Nutrition & Metabolism*.
- [5] Guillén-Casla V, Rosales-Conrado N, León-González ME. 2012. Determination of serotonin and its precursors in chocolate samples by capillary liquid chromatography with mass spectrometry detection.
- [6] Berger M., Gray J., Roth B. 2009. The expanded biology of serotonin. *Annual Review of Medicine*.
- [7] Mutschler E, Geisslinger G, Heyo K. 2013. Farmakologia i toksykologia. MedPharm Polska, Wrocław.
- [8] Lambing K. 1992. Biophoton measurements as a supplement to the conventional consideration of food quality. [In:] Popp F.A., Li K.H., Gu Q. (ed.). Recent advances in biophoton research and its applications. World Scientific Publications, p. 393-413.
- [9] Popp F.A. 2010. Przekaz jedzenia, czyli co nas odżywia? Wydawnictwo Virgo, Warszawa
- [10] Stalenga S. 2002. Nowe metody oceny jakości ziemiopłodów w rolnictwie ekologicznym. Materiały konferencyjne Warsztatów pt. Jakość żywności a rolnictwo ekologiczne, organizowanych 18.11.2002 r. w Krakowie.
- [11] Vogtmann H. 1992. New approaches to the determination of food quality. [In:] Food quality: Concepts and Methodology. *Elm Farm Research Centre*, Newbury, UK, p. 44-49.
- [12] Wang Y-y., Wang J-g., Ma Y-q., Su Z., Zhao K-j., Zhang Z-l., Zheng Y-y., Liu Ch-x. 1998. Kinetics of low level chemiluminescence from plant leaf smoked by air pollutants. *J. Environ. Sci.*, No. 10, 43-48.
- [13] Oziembłowski M., Drózd M., Juliszewski T., Trzyniec K. 2018. Wpływ naświetlania światłem białym lub niebieskim na wielkość emisji fotonów w wybranych produktach spożywczych. *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 2, 104-107.
- [14] Oziembłowski M., Drózd M., Kielbasa P., Drózd T., Gąsiorowski A., Nawara P., Tabor S. 2017. Ultraślaba luminescencja (USL) jako potencjalna metoda oceny jakości żywności tradycyjnej. *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 12, 131-134.
- [15] Sobol Z., Jakubowski T., Wrona P. 2018. The effect of UV-C stimulation of potato tubers and soaking of potato strips in water on density differences of intermediates for French-fry production. *Contemporary Research Trends in Agricultural Engineering*, Book Series BIO Web of Conferences, Vol. 10, Article Number 02031.
- [16] Gałązka-Czarnecka, I.; Korzeniewska, E.; Czarnecki, A.; Sójka, M.; Kielbasa, P.; Drózd, T. Evaluation of Quality of Eggs from Hens Kept in Caged and Free-Range Systems Using Traditional Methods and Ultra-Weak Luminescence. *Appl. Sci.* 2019, 9, 2430. <https://doi.org/10.3390/app9122430>
- [17] STATISTICA, Neural NetworksTM PL. 2001. Kurs użytkownika programu na przykładach. Statsoft, Kraków.
- [18] STATISTICA, Neural NetworksTM PL. 2001. Poradnik użytkownika. Statsoft, Kraków.
- [19] STATISTICA, Neural NetworksTM PL. 2001. Przewodnik Problemowy. Statsoft, Kraków.
- [20] STATISTICA, Neural NetworksTM PL. 2001. Wprowadzenie do sztucznych sieci neuronowych. Statsoft, Kraków.
- [21] Lewandowski S. 2009. Modelowanie i klasyfikacja połączeń końców przędz przy użyciu sztucznych sieci neuronowych. Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała
- [22] Szymczyk P., Tomecka - Suchoń S. and Szymczyk M. 2015. Neural Networks as a tool for georadar data processing. *International Journal of Applied Mathematics*, Vol. 25, No. 4, pp. 955-960.
- [23] Trzyniec K., Kowalewski A. 2020. Use of an Artificial Neural Network to Assess the Degree of Training of an Operator of Selected Devices Used in Precision Agriculture. *Energies*, No 13, Vol. 23.