

## Wykorzystanie emisji fotonów do oceny jakości jabłek

**Streszczenie.** Przeprowadzone badania dotyczyły określenia poziomu energii świetlnej emitowanej w postaci fotonów o niewielkim natężeniu i długości fali przez owoce pochodzące z uprawy o charakterze konwencjonalnym. Celem badań było porównanie ilości fotonów emitowanych przez jabłka bez wzbudzenia materiału badawczego oraz po wzbudzeniu światłem o długości fali 520 nm. Do realizacji badań wykorzystano autorski układ pomiarowy identyfikujący fotony emitowane przez produkt biologiczny za pomocą fotopowielacza. Do zliczania liczby emitowanych biofotonów wykorzystano środowisko programowania LabView. Odnotowano znaczny wzrost emisyjności fotonów przy oddziaływaniu światłem na produkt (średnio o 530 biofotonów), co potwierdza słuszność stymulacji świetlnej owoców w badaniu emisyjności fotonów.

**Abstract.** The conducted researches involved the determination of the level of light energy emitted in the form of photons with low intensity and wavelength by fruits from conventional cultivation. The aim of the study was to compare the number of photons emitted by apples without excitation of the test material and after light excitation at wavelength equaling 520 nm. The proprietary measuring system identifying the photons emitted by the biological product using a photomultiplier was used for this researches. The LabView programming environment was used to count the number of emitted biofotons. There was a considerable increase in the photon emissivity when light was applied to the product (average on 530 biofotons), which confirms the correctness of the light stimulation of the fruit in the photon emission test. **(Using photons emission to evaluate the quality of apples)**

**Słowa kluczowe:** fotony, wtórna luminescencja, wzbudzenie światłem, fotopowielacz

**Keywords:** photons, secondary luminescence, arousing by light, photomultiplier

### Wstęp

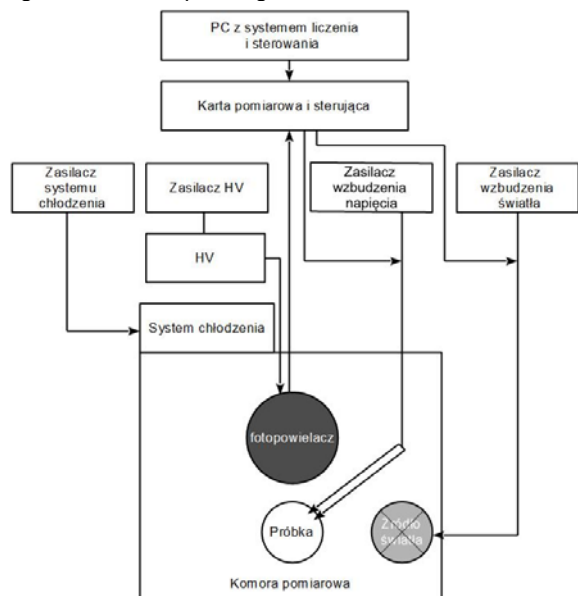
Uzyskiwanie dobrych jakościowo produktów jest jednym z podstawowych celów rolnictwa ekologicznego, którego technologia produkcji wyklucza chemizację upraw. Koniecznością stają się niekonwencjonalne metody eliminacji roślin niepożądanych, np. mikrofalowe [1], zwłaszcza w przypadku roślin o krótkim okresie wegetacyjnym. Określanie jakości żywności, szczególnie w kwestii jej wysublimowanych różnic stanowi wyzwanie dla współczesnej technologii oceny produktów spożywczych. Dotyczy to szczególnie produktów ekologicznych i o specyficznych właściwościach odżywczych. Parametryzacja takich produktów konwencjonalnymi metodami wymaga dużych nakładów materiałowo-czasowych oraz jest technicznie i technologicznie skomplikowanym procesem. Ponadto, tradycyjne metody, oparte na analizie zawartości określonych substancji chemicznych i ocenie organoleptycznej, nie definiują jakości w sposób precyzyjny i obiektywny [2]. Podejmowane są więc próby opracowania obiektywnej metody pozwalającej na dokładną ocenę standardu produktu ekologicznego. Jedną z takich metod jest pomiar emitowanych przez produkt żywnościowy fotonów, definiowanych jako promieniowanie elektromagnetyczne o niewielkim natężeniu i długości fali (od 300 do 800 nm) [3, 4, 5]. Ten rodzaj promieniowania określane jest jako wtórna luminescencja lub biochemoluminescencja, zachodząca na poziomie fotonów. W stanie niezaburzonego obiektu żywego stacjonarna ultrasłaba emisja fotonowa odzwierciedla stan równowagi oksydoredukcyjnej komórki, natomiast zmiany natężenia tej emisji oraz tempo tych zmian są skorelowane z odpowiedzią komórek na zadany bodziec z otoczenia. Emisja ta, w przeciwieństwie do bioluminescencji, jest niewidoczna gołym okiem, gdyż liczba fotonów emitowanych w zakresie widzialnym leży poniżej bezwzględnego progu energetycznego czułości naszego oka. Przyjmuje się, że obserwowalną ultrasłabą luminescencję stanowi promieniowanie elektromagnetyczne o intensywności od 1 do 10 000 fotonów z 1 cm<sup>2</sup> powierzchni w czasie 1 sekundy. Odpowiada to natężeniu od około od 10<sup>-20</sup> do 10<sup>-15</sup> watów na 1 cm<sup>2</sup> dla fali o długości 555 nm i natężeniu oświetlenia do 10<sup>-8</sup> luksa.

Zaadaptowane do ciemności oko ludzkie zdolne jest zobaczyć światło o natężeniu oświetlenia 10<sup>-5</sup> luksa. Zatem intensywność ultrasłabego świecenia leży daleko poniżej progu energetycznego ludzkiego oka. Zakres spektralny tego promieniowania obejmuje obszar od ultrafioletu do bliskiej podczerwieni (200-1000 nm) i ograniczony jest tylko możliwością obserwacji, zwłaszcza w obszarze fal długich [6]. Jako pierwszy, koncepcję wykorzystania emisji promieniowania żywych organizmów (bioluminescencji) do oceny jakości żywności opracował F.A. Popp [7]. Zaproponowana przez niego metoda polega na pojedynczym zliczaniu fotonów (ang. Single Photon Counting). Według Poppa, poziom emisji biofotonów bardzo dokładnie odzwierciedla stan organizmu, tak więc jakość żywności zależy od zgromadzonej w niej energii świetlnej w postaci biofotonów. W swoich wieloletnich badaniach wykazał, że produkty żywnościowe najwyższej jakości mają większą zdolność do kumulowania światła [8] i charakteryzują się wysokim poziomem emisji fotonów. Biorąc pod uwagę fakt, że każdy materiał biologiczny charakteryzuje się pewnego rodzaju energią będącą nośnikiem informacji o jego stanie, zdrowotności czy żywotności wystarczyłoby użyć katalizatora, aby ten stan określić, następnie sparаметryzować i przedstawić w sposób ilościowy.

### Układ pomiarowy

Do przeprowadzania badań użyto autorskiego układu pomiarowego umożliwiającego rejestrację ilości biofotonów emitowanych z produktów żywnościowych (rys.1). Produkt umieszczony był w stabilizowanej termicznie komorze pomiarowej. W komorze zastosowano elipsoidalne zwierciadło, odbijające promieniowanie emitowane przez materiał w kierunku fotopowielacza. W ten sposób zwiększono liczbę fotonów docierających do fotokatody. Sygnały wychodzące z fotopowielacza były dodatkowo intensyfikowane przez wbudowany w układzie pomiarowym wzmacniacz. Do rejestracji promieniowania użyto detektorów o dużej czułości (R 1538-13), z niskim prądem ciemnym. W dyskryminatorze progowym ustalany jest odpowiedni poziom dyskryminacji. Dzięki temu przepuszczane są jedynie impulsy o amplitudzie większej

niż przyjęta amplituda progowa. Fotopowielacz (PMT) zamienia sygnały świetlne pochodzące od badanego obiektu na impulsy elektryczne, a impulsy elektryczne, zamienione w dyskryminatorze na impulsy logiczne, są następnie zliczane w liczniku. Odbywa się to za pomocą oprogramowania napisanego w środowisku LabVIEW 2015.



Rys.1. Ogólny schemat układu pomiarowego [4]

### Metodyka badań

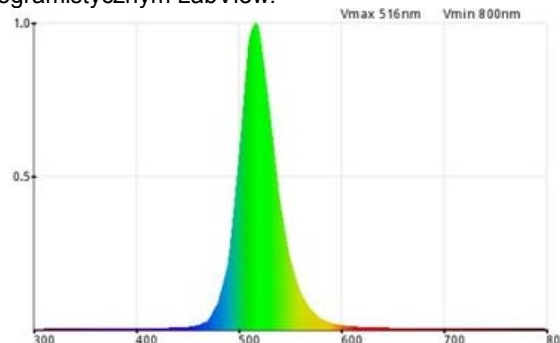
Do badań wykorzystano miąższ jabłka odmiany Janagold. Liczebność próby wynosiła 30 sztuk jabłek tej samej odmiany. Miąższ o masie 5 g (z dokładnością do 0,1 g) pobierano po przekrojeniu jabłka, nie bliżej niż 3 mm od skórki (rys. 2), z obręsu w kształcie kwadratu. Tuż po pobraniu miąższu materiał umieszczano w komorze pomiarowej. Czas operacji, podczas której miąższ był narażony na światło sztuczne o natężeniu w przestrzeni manipulacyjnej wynoszące 300 lx nie przekraczał jednej minuty.



Rys.2. Widok materiału doświadczalnego z zaznaczeniem miejsca pobierania miąższu

W doświadczeniu zastosowano dwa warianty, tj. pomiar luminescencji wtórnej bez wzbudzenia materiału badawczego oraz po wzbudzeniu światłem o długości fali 520 nm. Wzbudzenie próbek następowało poprzez oddziaływanie światłem generowanym przez diodę Led o zielonej barwie światła (rys.3). Źródło światła dobrane na podstawie wstępnych doświadczeń, które wykazywały jego najwyższą efektywność stymulacyjną w przypadku analizowanego materiału biologicznego. Czas stymulacji miąższu jabłek wynosił 600 sekund i był przeprowadzany w komorze światłoszczelnej. Elektroniczny układ wymuszający analizowany materiał umieszczony w komorze pomiarowej zapewniał stabilną regulację długości fali świetlnej [4]. Następnie zliczano ilość fotonów będących efektem luminescencji wtórnej. Zapis wyników badań

odbywał się automatycznie, poprzez zastosowanie oprogramowania napisanego w graficznym środowisku programistycznym LabView. Elektroniczny układ wymuszający analizowany materiał umieszczony w komorze pomiarowej zapewniał stabilną regulację długości fali świetlnej [4]. Następnie zliczano ilość fotonów będących efektem luminescencji wtórnej. Zapis wyników badań odbywał się automatycznie, poprzez zastosowanie oprogramowania napisanego w graficznym środowisku programistycznym LabView.

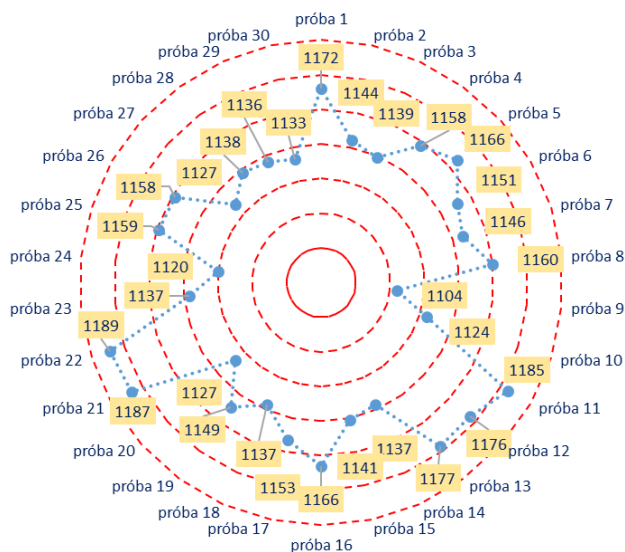


Rys. 3. Charakterystyka widmowa źródła światła, którym stymulowano miąższ jabłek

W celu eliminacji błędów wynikających z działania układu pomiarowego, na który składa się ciąg elementów generujących zakłócenia, wykonano pomiar tzw. „zerowy” gdzie w komorze pomiarowej nie umieszczano żadnej próbki materiału. Należy zaznaczyć, że układ pomiarowy pracował z częstotliwością 4 Hz, a czas pomiaru emisyjności wtórnej każdej próbki materiału wynosił zawsze 2160 s. Eksperyment przeprowadzono w laboratorium zamkniętym, w którym temperatura powietrza wynosiła 22°C, a wilgotność względna 60%.

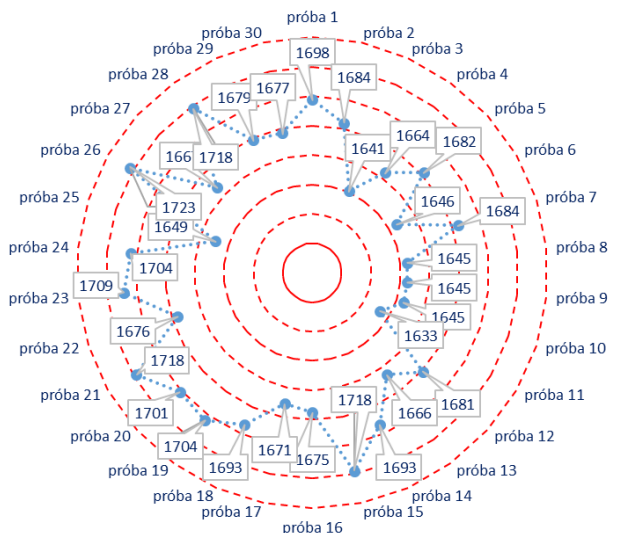
### Wyniki badań

Na rysunku 4 przedstawiono liczbę fotonów wyemitowanych w przypadku badania miąższu jabłek bez stosowania stymulacji świetlnej. Wartość średnia emisji wynosiła 1149,8 fotonów przy bardzo niewielkim zróżnicowaniu, które opisane odchyleniem standardowym wynosiło tylko 3,86 szt. Biorąc pod uwagę dużą powtarzalność wyników badań w obrębie przedmiotowej grupy doświadczalnej należy uznać relację emisji fotonów za stabilną. Różnica bezwzględna między zmierzoną wartością emisji fotonów minimalną, a maksymalną wynosiła 85 fotonów.



Rys.4. Liczba fotonów emitowana przez poszczególne próby materiału bez wzbudzenia światłem

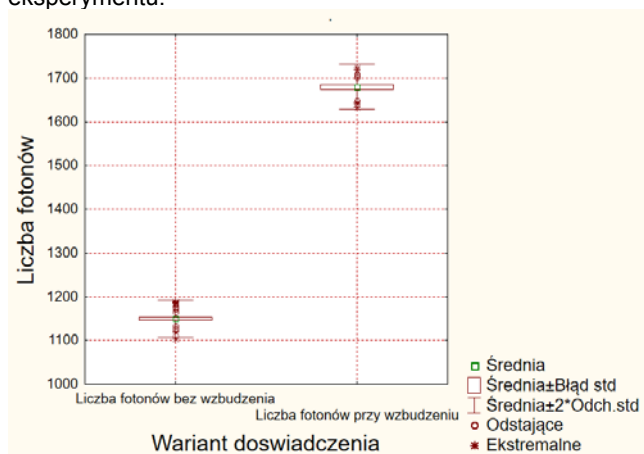
Analizując emisyjność fotonową próbek mięszu jabłek, które poddano stymulacji światłem widzialnym przed pomiarem emisji fotonów, zaobserwowano wyraźny wzrost liczby zarejestrowanych fotonów w stosunku do ich liczby rejestrowanej bez stymulacji (rys. 5).



Rys.5. Liczba fotonów emitowana przez poszczególne próby materiału przy wzbudzeniu światłem o długości fali 520 nm

Wartość średnia liczby emitowanych fotonów po stymulacji jabłek wynosiła 1679,6 i charakteryzowała się podobnie jak w przypadku jabłek bez stymulacji bardzo niskim współczynnikiem zmienności, który w tym przypadku wynosił tylko 0,2%. Zakres oscylacji wartości mierzonej wyrażony w wartościach bezwzględnych wynosił 90 fotonów. Należy zatem podkreślić, że przedmiotowa próba doświadczalna charakteryzowała się znikomym zróżnicowaniem wewnątrzgrupowym.

Porównując emisyjność próbek mięszu jabłek, które nie były poddane stymulacji z próbkami mięszu jabłek poddanych takiej stymulacji przed pomiarem emisji fotonów (rys. 6) stwierdzono, że istnieje istotna statystycznie różnica między wartościami średnimi analizowanego materiału biologicznego. Wielkość zróżnicowania między analizowanymi kombinacjami doświadczenia w wartościach bezwzględnych wynosiła ok. 530 fotonów, co dało ponad 31% różnicę względną między w/w wariantami eksperymentu.

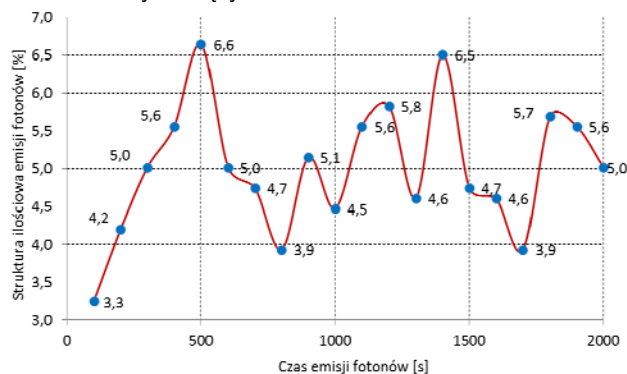


Rys.6. Porównanie ilości fotonów emitowanych przez mięsz jabłek bez stymulacji i przy stymulacji promieniowaniem świetlnym

Należy zaznaczyć bardzo małą zmienność emisji fotonów w obrębie próby doświadczalnej, stwierdzenie to

dotyczy obu kombinacji doświadczenia i przekłada się na wnioskowanie statystyczne.

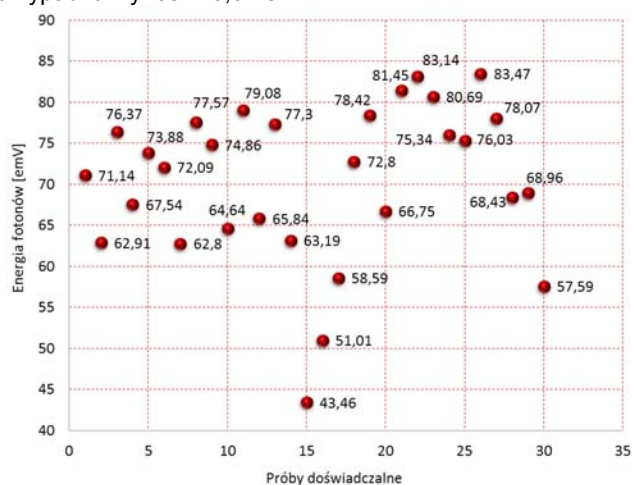
Na rysunku 7 przedstawiono przykładową procentową strukturę intensywności emisji fotonów w funkcji czasu ekspozycji materiału biologicznego w komorze światłoszczelnej. W tym przypadku całkowita liczba wyemitowanych fotonów w określonym metodycznie interwale czasowym stanowiła 100%. Charakterystyka intensywności emisji fotonów została sporządzana dla przedziałów wynoszących 100 s.



Rys.7. Struktura intensywności emisji fotonów mięszu jabłek nie poddanych stymulacji świetlnej

Zaobserwowano, że w początkowej fazie czasu ekspozycji materiał emisja wynosiła tylko 3,3 % ogólnej liczby fotonów. W dalszej kolejności gwałtownie rośnie i po czasie wynoszącym 500 s wynosiła już dwukrotnie więcej (6,6%) stanowiąc jednocześnie maksimum intensywności emisji fotonów. Nieco niższą, ale wysoką intensywność emisji fotonów (6,5%) odnotowano w przedziale czasowym eksperymentu wynoszącym od 1300 s do 1400 s, następnie intensywność emisji malała. Należy zaznaczyć że po czasie wynoszącym 2000 s dalej odnotowywano emisję fotonów jednak z przyczyn organizacyjnych badań interwał czasowy jednej próbki ograniczono do 2160 s.

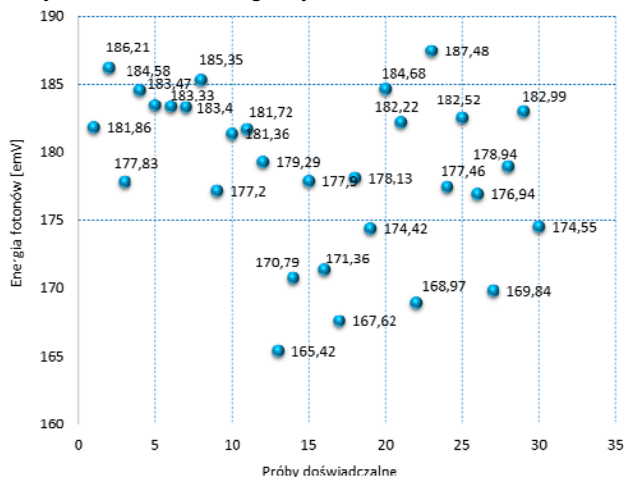
W doświadczeniu określono również wielkość energii emitowanych fotonów w zadanym czasie ekspozycji dla obu wariantów eksperymentu. Analizując wartość średnią i strukturę energii emisji fotonów w przypadku mięszu jabłek, które nie zostały poddane stymulacji świetlnej (rys. 8) zaobserwowano, że jej zróżnicowanie w obrębie grupy wyrażone za pomocą współczynnika zmienności wynosiło ok. 2%. Wartość średnia energii fotonów wynosiła 70,45 emV, a zakres oscylacji wartości mierzonej w skrajnym przypadku wynosił 40,01 emV.



Rys.8. Struktura energii uwalnianych fotonów w mięszu przy braku stymulacji świetlnej

Należy zaznaczyć, że wykluczając cztery pomiary zakres oscylacji wartości mierzonej nie przekroczyłby w wartościach bezwzględnych 20 jednostek energii, co daje bardzo dobre wyrównanie wyników badań i wysoką pewność wnioskowania.

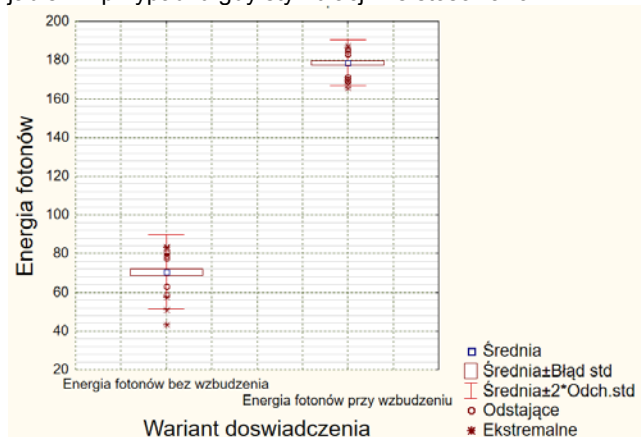
Na rysunku 9 przedstawiono strukturę energii emitowanych fotonów z miąższu jabłek, które były poddawane stymulacji świetlnej. Średnia wartość energii fotonów emitowanych w tej kombinacji doświadczenia wynosiła 178,59 emV, charakteryzując bardzo małym współczynnikiem zmienności, który wyrażony za pomocą odchylenia standardowego wynosił 1,08 emV.



Rys. 9. Struktura energii uwalnianych fotonów w miąższu jabłek poddanych stymulacji świetlnej

Natomiast zakres oscylacji wielkości energii zidentyfikowanych fotonów między skrajnie odnotowanymi wynikami pomiarów wyrażony w wartościach bezwzględnych wynosił tylko 22,06 emV. Zatem należy zaznaczyć, że wyrównanie wyników badań w obrębie badanej grupy było większe niż w przypadku grupy doświadczalnej w której nie stosowano stymulacji świetlnej.

Na rysunku 10 przedstawiono porównanie wartości energii fotonów emitowanych przez miąższ jabłek w obu wariantach doświadczenia. Zaobserwowano istotną statystycznie różnicę między wielkością energii fotonów emitowaną z miąższu jabłek, które były poddane stymulacji świetlnej a wielkością tej energii emitowanej z miąższu jabłek w przypadku gdy stymulacji nie stosowano.



Rys.10. Porównanie energii fotonów emitowanych przez miąższ jabłek bez stymulacji i przy stymulacji promieniowaniem świetlnym

Odnotowano, że zróżnicowanie między wartościami średnimi wielkości emitowanej energii fotonów dla analizowanych kombinacji doświadczenia wynosiła 108 emV. Należy zaznaczyć że współczynniki zmienności w obu wariantach doświadczenia w obrębie energii fotonów nie przekraczały 2%, co świadczy o dobrym wyrównaniu wyników pomiaru.

### Podsumowanie

Analiza otrzymanych wyników badań potwierdziła możliwość i racjonalność stymulacji świetlnej owoców, która przekłada się w sposób istotny na liczbę generowanych fotonów. Ma to szczególnie znaczenie przy małej emisyjności, gdzie pomiar liczby fotonów jest utrudniony, szczególnie przy dużym szumie pomiarowym. Należy zaznaczyć że pomimo stymulacji i istotnych różnic w sumarycznej liczbie fotonów, które zostały zarejestrowane, ich charakterystyka emisji w badanym interwale czasowym jest zbieżna. Istnieje jednak potrzeba przeprowadzenia dodatkowych badań, które pozwolą sparametryzowane cechy chemiczne produktów spożywczych i skorelować z ilością emitowanych przez produkt fotonów.

**Autorzy:** dr inż. Karolina TRZYNIEC, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: Karolina.Trzyniec@urk.edu.pl, dr hab. inż. Paweł KIELBASA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: Pawel.Kielbasa@urk.edu.pl, dr inż. Maciej Oziembłowski, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności, ul. C. K. Norwida 25, 50-375 Wrocław, E-mail: maciej.ozieblow@upwr.edu.pl; mgr Magdalena Drózdź, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności, ul. C. K. Norwida 25, 50-375 Wrocław, E-mail: magdalena.drozd@upwr.edu.pl; dr inż. Piotr NAWARA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, dr inż. Zdzisław POSYŁEK, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, E-mail: zdzichu@el.pcz.czyst.pl, inż. Renata LEJA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: r.leja@interia.pl

### LITERATURA

- [1] Kielbasa P., Pikul K., Drózdź T., Nawara P., Nęcka K., Oziembłowski M., Lis S., Tomasiak M., Ostafin M., Wykorzystanie promieniowania mikrofalowego do selektywnej eliminacji flory w jej początkowym okresie rozwoju. *Przegląd Elektrotechniczny*, (2016), nr 12, 65-69
- [2] Stalenga S., Nowe metody oceny jakości ziemiopłodów w rolnictwie ekologicznym. Materiały konferencyjne Warsztatów pt. Jakość żywności a rolnictwo ekologiczne, organizowanych 18.11.2002r. w Krakowie
- [3] Lambing K., 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*, (1992), 393-413
- [4] Kielbasa P., Drózdź T., Nawara P., Drózdź M., Wykorzystanie emisji biofotonów do parametryzacji jakościowej produktów spożywczych. *Przegląd Elektrotechniczny*, (2017), nr 1, 153-156
- [5] Vogtmann H., New approaches to the determination of food quality. [In:] Food quality: Concepts and Methodology. *Elm Farm Research Centre*, (1992), Newbury, UK, 44-49
- [6] Borc R., Jaśkowska A., Dudziak A., Ultraślaba emisja fotonowa z układów żywych. *Politechnika Lubelska*, (2015), ISBN 978-83-7947-164-5
- [7] Ruth B., Popp F. A., Experimentelle Untersuchungen zur ultraschwachen Photonemission biologischer Systeme. *Zeitschrift für Naturforschung*, 31c (1976), 741-745
- [8] Popp F.A. Przekaz jedzenia, czyli co nas odżywia. Wydawnictwo Virgo, (2010), Warszawa ISBN 978-83-923879-4-7