

Wykorzystanie technologii pulsacyjnego pola elektrycznego w procesie koagulacji lateksu syntetycznego

Streszczenie. Przetwórstwo oparte na pulsacyjnym polu elektrycznym jest techniką przyjazną dla środowiska, która może być skutecznie stosowana w wielu aplikacjach związanych z przetwarzaniem żywności, takich jak inaktywacja mikroorganizmów czy enzymów, odzyskiwanie związków bioaktywnych, odwadnianie i zamrażanie i wiele innych. Kauczuk naturalny stosowany obecnie w przemyśle pochodzi głównie z przetworzonego mleczka zawierającego lateks, wydzielanego z drzew *Hevea brasiliensis*, naturalnie występujących w lasach dorzecza Amazonki [3]. Kauczuk naturalny jako unikalny biopolimer o specyficznych właściwościach często nie może być zastąpiony przez alternatywne syntetyczne materiały. Celem badań było określenie wpływu oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego na proces koagulacji lateksu syntetycznego. Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium Eksperymentalnych Techniek Badawczych Produktów i Surowców Biologicznych. Zbadano wpływ oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego o różnych wartościach napięcia elektrycznego i różnej liczbie impulsów elektrycznych na proces koagulacji lateksu syntetycznego. Przeprowadzone badania potwierdzają że oddziaływanie pulsacyjnego pola elektrycznego powoduje proces koagulacji lateksu syntetycznego. Najlepsze efekty procesu koagulacji lateksu syntetycznego, uzyskano po zastosowaniu 400 impulsów oddziaływań PEF oraz 30 kV ustawionego napięcia. Metoda PEF okazała się dobrym zastępstwem tradycyjnej metody koagulacji.

Abstract. Pulsed electric field-based processing is an environmentally friendly technique that can be used effectively in many food processing applications, such as inactivation of microorganisms or enzymes, recovery of bioactive compounds, dehydration and freezing and many others. Natural rubber used in industry today is mainly derived from processed latex-containing milks secreted from *Hevea brasiliensis* trees, naturally found in the forests of the Amazon basin [3]. As a unique biopolymer with specific properties, natural rubber often cannot be replaced by alternative synthetic materials. The purpose of this study was to determine the effect of pulsed electric field interaction on the coagulation process of synthetic latex. The research was conducted in the Laboratory of Experimental Research Techniques of Biological Products and Raw Materials. The effect of pulsed electric field interaction with different values of electric voltage and different number of electric pulses on the coagulation process of synthetic latex was studied. The conducted research confirms that the interaction of pulsed electric field causes the coagulation process of synthetic latex. The best results of the coagulation process of synthetic latex, were obtained after the application of 400 pulses of PEF interactions and 30 kV of set voltage. The PEF method proved to be a good substitute for the traditional coagulation method. (**Influence of alternating electromagnetic field exposure on photon emission of brew of selected plants**)

Słowa kluczowe: emisja fotonowa, napary, rośliny, pole elektromagnetyczne
Keywords: photon emission, brew, plants, electromagnetic field

Wstęp

Przetwórstwo oparte na pulsacyjnym polu elektrycznym jest techniką przyjazną dla środowiska, która może być skutecznie stosowana w wielu aplikacjach związanych z przetwarzaniem żywności, takich jak inaktywacja mikroorganizmów czy enzymów, odzyskiwanie związków bioaktywnych, odwadnianie i zamrażanie i wiele innych [1-4]. Wiele badań dotyczyło zastosowania technologii PEF do przetwarzania niektórych płynnych, półpłynnych, stałych i mięsnych produktów spożywczych [1,3,4]. Technologia ta została wykorzystana do inaktywacji różnych mikroorganizmów i enzymów lub zmniejszenia ich aktywności w produktach mlecznych, produktach jajecznych, sokach i innych płynnych produktach spożywczych w celu zapewnienia bezpiecznej i odpowiedniej jakości żywności, która spełnia wymagania konsumentów. Ze względu na niską energię pochłanianą podczas konserwacji metodą PEF, temperatura przetwarzanej żywności pozostaje niska w porównaniu do konwencjonalnych technik pasteryzacji. PEF został również wykorzystany do wstępnej obróbki żywności stałej, takiej jak jabłka, skorupki jaj, ziemniaki i pokarmów mięsnych. Technologia PEF zwiększyła efektywność i wydajność procesu ekstrakcji, np. ekstrakcji cukru z buraków, soku z winogron lub jabłek oraz związków bioaktywnych. Podobnie, obróbka wstępna PEF wykazała znaczący wpływ na charakterystykę wydajności procesu podczas produkcji frytek na skalę przemysłową. Zastosowanie PEF na mięśnie wołowe powoduje zmniejszenie siły ścinającej i poprawę kruchości. PEF wpływa również na kinetykę suszenia, a skrócenie czasu suszenia jest korzystne dla zatrzymania biokomponentów w suszonych próbkach. W związku z tym, przetwarzanie oparte na PEF przyczynia się do znacznych ulepszeń w tej gałęzi przemysłu [1,4,5].

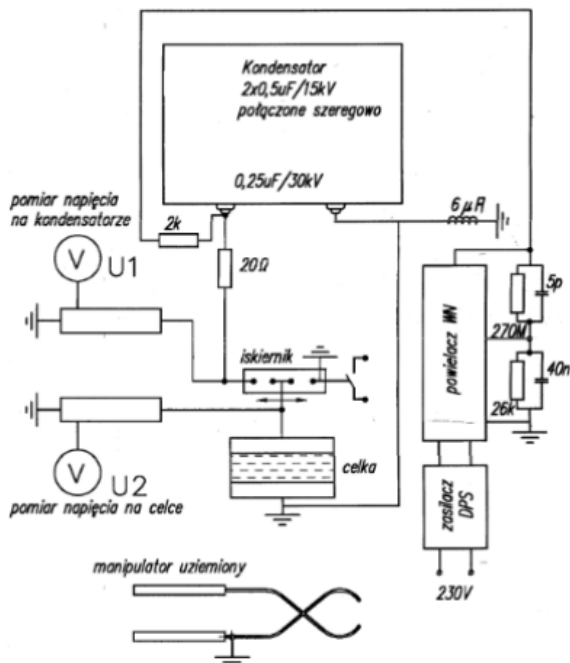
Niektóre zastosowania technologii PEF są w biotechnologii i inżynierii genetycznej do elektroporacji w hybrydyzacji komórek [6].

Efektywność PEF w permeabilizacji błon komórkowych zależy od parametrów procesu (natężenie pola elektrycznego, czas obróbki, energia właściwa, kształt impulsu, szerokość impulsu, częstotliwość i temperatura), obrabianej próbki żywności (pH i przewodność) oraz komórek docelowych (rozmiar, kształt, struktura błony i otoczki) [1]. Natężenie pola mieści się w zakresie 15-50 kV/cm, ale pole to jest wymagane tylko przez mikrosekundy. Typowy system przetwarzania PEF składa się z modulatora impulsów i zestawu komór do obróbki PEF. Modulator impulsów ewoluował od wykorzystania iskierników jako urządzeń przełączających do obecnych półprzewodnikowych urządzeń przełączających. Nowe modulatory impulsów wykorzystujące przełączniki półprzewodnikowe są nazywane półprzewodnikowymi modulatorami impulsów. Modulatory te mogą włączać i wyłączać impulsy, aby wygenerować prawie kwadratowy kształt fali impulsowej [6].

Kauczuk naturalny stosowany obecnie w przemyśle pochodzi głównie z przetworzonego mleczka zawierającego lateks, wydzielanego z drzew *Hevea brasiliensis*, naturalnie występujących w lasach dorzecza Amazonki [7]. Kauczuk naturalny jako unikalny biopolimer o specyficznych właściwościach często nie może być zastąpiony przez alternatywne syntetyczne materiały. Z kolei ten pozyskany z drzewa *Hevea brasiliensis* niekiedy nie spełnia wymaganych kryteriów [8]. Badania nad koagulacją lateksu Hevea zyskały w ostatniej dekadzie ogromne zainteresowanie. Koagulacja naturalna jest postrzegana jako najlepsza technika wytwarzania kauczuku o dużej masie cząsteczkowej i lepszej elastyczności. Lateks Hevea

składa się z dwóch układów koloidalnych. Pierwszy z nich to cząstki kauczuku rozproszone w substancjach organicznych i bogatym w minerały C-serum. Drugi system to B-serum zamknięte w cząsteczkach lutoidu, które są dwukrotnie bogatsze w białka niż C-serum i zawierają największą ilość minerałów. Koagulacja jest pierwszym kluczowym etapem przetwarzania kauczuku naturalnego (NR), który zachodzi naturalnie lub jest wywoływany przez różne techniki. Mechanizm koagulacji lateksu Hevea polega na destabilizacji i agregacji cząstek lateksu, na które wpływają różne czynniki [9].

Celem badań było określenie wpływu oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego na proces koagulacji lateksu syntetycznego. Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium Eksperymentalnych Technic Badawczych Produktów i Surowców Biologicznych.



Rys. 1. Schemat ideowy urządzenia do generowania PEF (Ertec SU-1)



Rys. 2. Prototypowe laboratoryjne urządzenie do generowania oddziaływań PEF

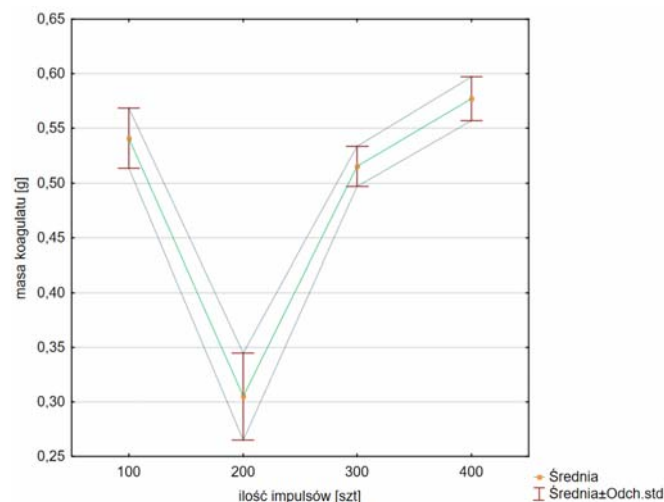
Materiały i metody

Wykonane zostało 12 prób przy zmiennej ilości impulsów [szt] i wartości ustawionego napięcia [kV] oraz stałym odstępie między impulsami [s]. Badania zostały przeprowadzone na 12 próbach o wadze 20 g każda. Badania przeprowadzono na stanowisku do wytwarzania Pulsacyjnego Pola Elektrycznego (rys. 2). Podstawową

zasadą oddziaływania PEF (Pulsed Electric Field) jest stosowanie krótkich impulsów pól elektrycznych o wysokim potencjale rzędu 10-80 kV/cm (na omawianym stanowisku do 30 kV) z czasem trwania od mikrosekund do milisekund. Proces jest oparty na oddziaływaniu elektrycznych impulsowych prądów dostarczanych do produktu wprowadzanego między zestaw elektrod; gdzie odległość między elektrodami jest określana jako obszar roboczy komory PEF [10,11] (rys. 1). Stosowane napięcia powoduje powstanie wysokiego pola elektrycznego. Kształt impulsu podczas oddziaływań PEF może być np. prostokątny, zanikający wykładniczo, etc.

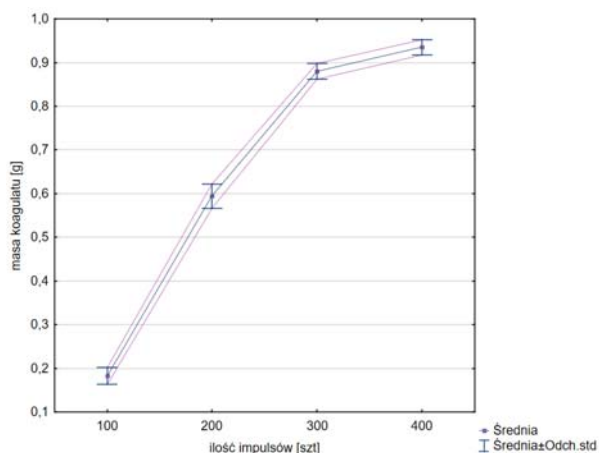
Wyniki

Zbadano wpływ oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego o różnych wartościach napięcia elektrycznego i różnej liczbie impulsów elektrycznych na proces koagulacji lateksu syntetycznego. Na rysunkach 3 - 5 przedstawiono średnia masę uzyskanych koagulatów. W przypadku zastosowania pulsacyjnego pola elektrycznego o napięciu 20 kV/cm w procesie koagulacji (rys. 3), stwierdzono, że masa otrzymanych koagulatów utrzymuje się na zbliżonym poziomie, wyjątek stanowi koagulat uzyskany przy zastosowaniu 200 impulsów elektrycznych. Najwyższą masę koagulatu otrzymano przy poddaniu lateksu oddziaływaniu 400 impulsów elektrycznych (0,58g), natomiast najniższą przy zastosowaniu 200 impulsów elektrycznych (0,31g). Należy zaznaczyć, że wartości masy uzyskane z próbek poddanych oddziaływaniu różnych ilości impulsów elektrycznych były istotnie różne, co świadczyło o zróżnicowanym wpływie oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego o napięciu 20 kV/cm na proces koagulacji.



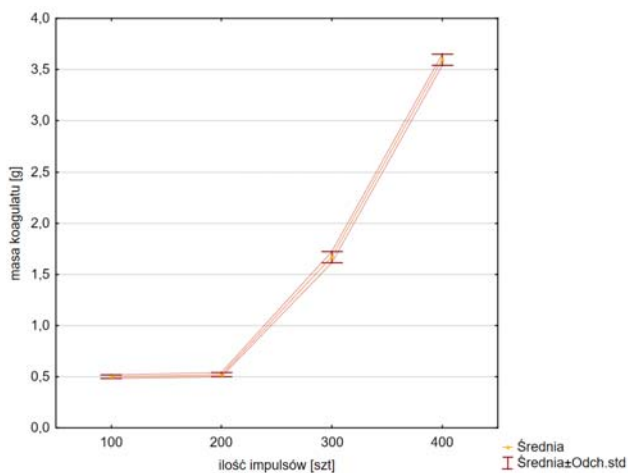
Rys. 3. Wpływ oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego o napięciu 20 kV/cm na masę koagulatu lateksu syntetycznego

Na rysunku 4 przedstawiono wpływ oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego o napięciu 25 kV/cm na proces koagulacji. Stwierdzono, że w przypadku zastosowania pulsacyjnego pola elektrycznego o napięciu 25 kV/cm i różnej ilości i plusów elektrycznych, utrzymuje się tendencja wzrostowa masy uzyskanych koagulatów. Najwyższą masę koagulatu otrzymano przy poddaniu lateksu oddziaływaniu 400 impulsów elektrycznych (0,94g), natomiast najniższą przy zastosowaniu 100 impulsów elektrycznych (0,18g). Należy zaznaczyć, że wartości masy uzyskane z próbek poddanych oddziaływaniu różnych ilości impulsów elektrycznych były istotnie różne, co świadczyło o zróżnicowanym wpływie oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego o napięciu 25 kV/cm na proces koagulacji.



Rys. 4. Wpływ oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego o napięciu 25 kV/cm na masę koagulatu lateksu syntetycznego

Na rysunku 5 przedstawiono wpływ oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego o napięciu 30 kV/cm na proces koagulacji. Zaobserwowano, że masa uzyskanych koagulatów przy zastosowaniu 100 i 200 impulsów elektrycznych utrzymuje się na podobnym poziomie (odpowiednio 0,5 i 0,52g). Natomiast przy zastosowaniu 300 i 400 impulsów elektrycznych masa otrzymanych koagulatów rośnie. Dla 300 impulsów elektrycznych uzyskano 1,67g koagulatu, a dla 400 impulsów elektrycznych 3,6g. Należy zaznaczyć, że wartości masy uzyskane z próbek poddanych oddziaływaniu różnych ilości impulsów elektrycznych były istotnie różne, co świadczyło o zróżnicowanym wpływie oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego o napięciu 30 kV/cm na proces koagulacji.



Rys. 5. Wpływ oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego o napięciu 30 kV/cm na masę koagulatu lateksu syntetycznego

Przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji (ANOVA), do której wykorzystano program Statistica 13 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Istotność różnic pomiędzy średnimi zweryfikowano testem Scheffe'go ($\alpha=0,05$). Wyniki zostały przedstawione w tabeli 1. Wyodrębniono osiem grup jednorodnych masy koagulatu otrzymanych po oddziaływaniu pulsacyjnego pola elektrycznego. Do pierwszej grupy jednorodnej zaliczono masę koagulatu uzyskaną po oddziaływaniu PEF o wartości napięcia 30 kV/cm i 100 impulsach elektrycznych, do drugiej masę koagulatu uzyskaną po oddziaływaniu PEF o wartości napięcia 25 kV/cm i 200 impulsach elektrycznych, do trzeciej masę koagulatu uzyskaną po oddziaływaniu PEF o wartości napięcia 25 kV/cm i 300 oraz 400 impulsach elektrycznych. W czwartej grupie znalazła się masa

koagulatu uzyskana po oddziaływaniu PEF o wartości napięcia 25 kV/cm i 100 impulsach elektrycznych, a w piątej masa koagulatu uzyskana po oddziaływaniu PEF o wartości napięcia 20 kV/cm i 200 impulsach elektrycznych. Natomiast w grupach szóstej i siódmej znalazły się odpowiednie masy uzyskane po oddziaływaniu PEF o wartości napięcia 30 kV/cm i 300 oraz 400 impulsach elektrycznych. Pozostałe masy otrzymanych koagulatów były zbliżone do siebie. Świadczy to o zróżnicowanym oddziaływaniu pulsacyjnego pola elektrycznego na proces koagulacji między grupami jednorodnymi.

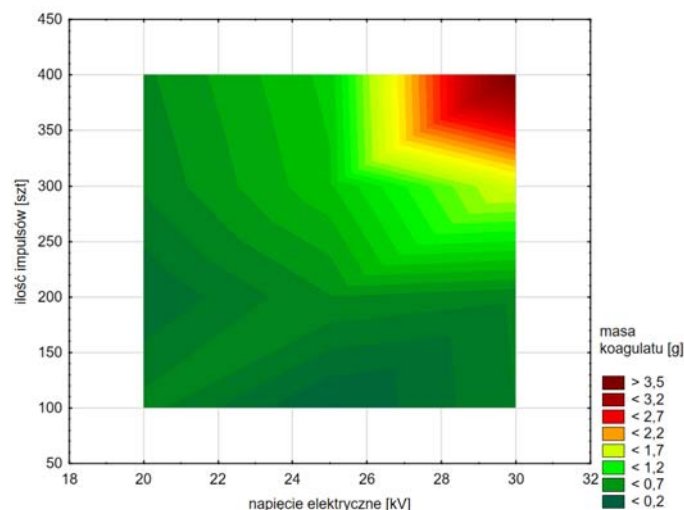
Tabela 1. Masa uzyskanych koagulatów po oddziaływaniu pulsacyjnego pola elektrycznego i różnej ilości impulsów elektrycznych.

Napięcie elektryczne [kV]	Ilość impulsów [szt.]	Masa koagulatu [g]
20	100	0,541 ^{abc}
	200	0,305 ^f
	300	0,515 ^{ab}
	400	0,577 ^{bc}
25	100	0,183 ^e
	200	0,594 ^c
	300	0,88 ^d
	400	0,935 ^d
30	100	0,501 ^a
	200	0,519 ^{ab}
	300	1,668 ^g
	400	3,597 ^h

- obliczenia wykonane na poziomie istotności $\alpha=0,05$

a – pierwsza grupa jednorodna, b – druga grupa jednorodna, c – trzecia grupa jednorodna, d – czwarta grupa jednorodna, e – piąta grupa jednorodna, f – szósta grupa jednorodna, g – siódma grupa jednorodna, h – ósma grupa jednorodna

Aby uzyskać najwyższą masę koagulatu lateksu syntetycznego (rys. 6) należy tak dobrać parametry napięcia elektrycznego i ilości impulsów, aby kombinacja tych parametrów sytuowała układ w obszarze koloru czerwonego i nie przekraczała linii granicznej koloru żółtego. Należy zaznaczyć, że już napięcie elektryczne wynoszące 30 kV i ilość impulsów wynosząca 400 sztuk powodowały istotny przyrost masy koagulatu w stosunku do zastosowania najniższych wartości w/w parametrów.



Rys. 6. Relacja pomiędzy napięciem elektrycznym i ilości zastosowanych impulsów oraz masą otrzymanego koagulatu lateksu syntetycznego

Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdzają że oddziaływanie pulsacyjnego pola elektrycznego powoduje proces koagulacji lateksu syntetycznego. Analiza wyników pozwala na wyciągnięcie wniosku, że zarówno ilość

impulsów jak i wartość ustawionego napięcia ma wpływ na ilość koagulatu. Najlepsze efekty procesu koagulacji lateksu syntetycznego, uzyskano po zastosowaniu 400 impulsów oddziaływań PEF oraz 30 kV ustawionego napięcia. Metoda PEF okazała się dobrym zastępstwem tradycyjnej metody koagulacji. Zastosowana metoda koagulacji lateksu przy zastosowaniu oddziaływań Pulsacyjnego Pola Elektrycznego, jest metodą ekologiczną (praktycznie bezodpadową).

Sfinansowano z subwencji Ministerstwa Edukacji i Nauki dla Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie na rok 2022.

Autorzy: dr inż. Tomasz Drózdź, prof. URK Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Balicka 116B, 30–149 Kraków, E-mail: tomasz.drozd@urk.edu.pl; dr inż. Adam Tarniowy Małopolska Uczelnia Państwowa im. rtm. Witolda Pileckiego w Oświęcimiu, Zakład Inżynierii Procesów i Jakości, Kolbego 8, 32-600 Oświęcim, E-mail: adam.tarniowy@mup.edu.pl; mgr inż. Anna Miernik, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Balicka 116B, 30–149 Kraków, E-mail: anna.miernik@urk.edu.pl; inż. Anna Zielonka, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Balicka 116B, 30–149 Kraków, E-mail: anna.zielonka@urk.edu.pl;

LITERATURA

- [1] Arshad, R. N., Abdul-Malek, Z., Munir, A., Buntat, Z., Ahmad, M. H., Jusoh, Y. M. M., ... Aadil, R. M. (2020). Electrical systems for pulsed electric field applications in the food industry: An engineering perspective. *Trends in Food Science & Technology*. doi:10.1016/j.tifs.2020.07.008
- [2] Jabłońska, B., Kielbasa, P., Korenko, M., & Drózdź, T. (2019). Physical and Chemical Properties of Waste from PET Bottles Washing as A Component of Solid Fuels. *Energies*, 12(11), 2197. doi:10.3390/en12112197
- [3] Oziemblowski, M., Drozd, M., Kielbasa, P., Drozd, T., Gliniak, M., Nawara, P., & Ostafin, M. (2017). Impact of pulsed electric field on the quality of unpasteurized beer. *2017 Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE)*. doi:10.1109/paee.2017.8009011
- [4] Oziemblowski, M., Drozd, T., Nawara, P., Necka K., Lis S., Kielbasa P., Tomasiak M., Ostafin M. Synergiczne oddziaływanie Pulsacyjnych Pól Elektrycznych (PEF) oraz innych metod na płynne produkty spożywcze, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 92 NR 12/2016, 121- 124
- [5] Korzeniewska, E., Szczęsny, A., Lipiński, P., Drózdź, T., Kielbasa, P., & Miernik, A. (2020). Prototype of a Textronic Sensor Created with a Physical Vacuum Deposition Process for *Staphylococcus aureus* Detection. *Sensors*, 21(1), 183
- [6] Ravishankar, S., Zhang, H., & Kempkes, M. L. (2008). Pulsed Electric Fields. *Food Science and Technology International*, 14(5), 429–432. doi:10.1177/1082013208100535
- [7] Niyogi U. K. , *Introduction to Fibre Science and Rubber Technology* B. Rubber Technology, University Road, Delhi 2007
- [8] Dzieża A., Chelmińska M., 2014, Alergia na lateks–reakcje krzyżowe, *Alergologia Polska-Polish Journal of Allergology*, 1, 144-149.
- [9] Ng J.W., Othman N., Yusof N.H. 2022. Various coagulation techniques and their impacts towards the properties of natural rubber latex from *Hevea brasiliensis* — a comprehensive review related to tyre application. *Industrial Crops and Products*, Volume 181, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114835>
- [10] Gałązka-Czarnecka I., Korzeniewska E., Czarnecki A., Stańdo J. ; Modification of pigments content in red clover sprouts with the use of pulsed electric field; *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1782, 2020 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE 2020) 13-16 September 2020, virtual meeting, Poland; 012009
- [11] Gałązka-Czarnecka I., Korzeniewska E., Czarnecki A., Modification of antioxidant activities in wines using pulsed electric field, 2019 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE), 2019, pp. 30-33, doi: 10.23919/PTZE.2019.8781699.