

Stanowisko do stymulacji zróżnicowanym polem elektromagnetycznym substancji biologicznej

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję i realizację modyfikacji funkcjonalnej i sprzętowej stanowiska do stymulacji materii żywej przemiennym polem magnetycznym. Zmodyfikowane stanowisko z wieloodczepową cewką pozwoliło na stosowanie pola o częstotliwościach od 10 Hz do 100 Hz. Efekt stymulacji substancji organicznej weryfikowano stopniem emisji fotonowej tej substancji. Analiza wyników wykazała wpływ częstotliwości pola magnetycznego na wielkość i strukturę zróżnicowania emisji fotonowej w funkcji czasu w stosunku do substancji nie poddanej stymulacji.

Abstract. The article contains concept and resolution concern functional and hardware modification of the stand for the stimulation of organic substance by the electromagnetic field. The modified stand allowed for differentiation of the output parameters of the coil and the use of an electromagnetic field in the range from 10 Hz to 100 Hz. The level of variability in the stimulation of organic substance was verified by the level of photon emission from the substance in question. The analysis of the results showed the influence of the frequency of the electromagnetic field on changes in the size and structure of emissions as a function of time, in relation to the substance not subjected to stimulation. (The research stand to stimulation of biological materials by the various electromagnetic field).

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, symulacja polem elektromagnetycznym, substancja organiczna

Keywords: electromagnetic field; stimulation by electromagnetic field; organic substance

Wstęp

Oddziaływanie pola elektromagnetycznego na organizmy żywe stanowi przedmiot badań wielu autorów, co umożliwiają coraz lepsze środki techniczne i wysublimowane metody wymuszeń i rejestracji reakcji organizmu na te wymuszenia. Brak jest jednoznacznych dowodów charakteru oddziaływania oddziaływania pól elektromagnetycznych na żywe organizmy – zarówno pozytywnego czy negatywnego, ponieważ w dużej mierze oddziaływanie to nie wywołuje jednoznacznych reakcji, a efekty są zwykle nieliniowe [1,2,3,4]. Silne pola magnetyczne znalazły np. w diagnostyce medycznej - tomografii magnetyczno-rezonansową (NMR), która w sposób nieinwazyjny pozwala otrzymać obrazy wnętrza ciała. W trakcie badania pacjent poddawany jest kombinacji silnego pola magnetycznego o indukcji 1.5 –2.0 T (ok. 50 tysięcy razy silniejsze niż pole magnetyczne Ziemi) i zmiennych pól gradientowych i radiofalowych. Badania wskazują również na oddziaływanie pól elektromagnetycznych na rośliny, np. niektóre gatunki, które cały czas rosły w polu o częstotliwości 50 Hz posiadają większą zawartość suchej masy, powierzchnie asymilacyjną liści oraz bardzo dobrze rozbudowany system korzeniowy. Pozwala to roślinom na łatwiejszy dostęp do substancji odżywczych, wody z gleby i zwiększenie produktywności procesu fotosyntezy [5]. Pole elektromagnetyczne ma wpływ również na transport związków organicznych – hormonów wzrostu (auksyn), obdarzonych ładunkiem elektrycznym oraz wpływa na substancje chemiczne w roślinach. Prawidłowa ekspozycja na pole elektromagnetyczne o wysokiej częstotliwości zmniejsza zachorowalność nasion, zabijając patogeny znajdujące się na powierzchni nasion, jednocześnie nie wpływając na zdolność kiełkowania. Jednakże pole o wysokiej częstotliwości może wywoływać również negatywne skutki w roślinach m.in. może przyspieszyć powstanie białka szoku termicznego [5]. Odnotowano również wpływ zmiennego pola elektromagnetycznego na kształt bulw ziemniaka. Wykazano korzystny wpływ stymulacji magnetycznej na wartości współczynników sferyczności bulw, odnotowując wpływ pola elektromagnetycznego na zahamowanie zniekształceń bulw ziemniaków w stosunku do bulw nie poddanych temu oddziaływaniu [6]. Mierzalne efekty oddziaływania pola elektromagnetycznego stwierdzono także w przypadku zdolności adaptacyjnych mikroorganizmów. [7]. Wraz z rosnącą odpornością drobnoustrojów na antybiotyki, środki dezynfekcyjne i antyseptyczne wśród naukowców pojawia się chęć znalezienia nowych skutecznych metod zwalczania zakażeń bakteryjnych, a jedną z takich metod jest

wykorzystanie wpływu pola elektromagnetycznego [8]. Prace nad wpływem pola magnetycznego na drobnoustroje wykazały, że w zależności od siły i częstotliwości pola, wzrost mikroorganizmów może zostać zahamowany. Wykonane badania pokazały spadek jednostek tworzących kolonie *Escherichia coli* oraz znaczne zmniejszenie ich tempa wzrostu [9]. Większość autorów obserwujących wpływ stałego pola magnetycznego na wybrane gatunki bakterii, zaobserwowało zahamowanie ich wzrostu. Jeżeli natomiast chodzi o oddziaływanie zmiennego pola elektromagnetycznego o niskich częstotliwościach odnotowano w badaniu na bakterię *Escherichia coli* efekt hamujący na poziomie d 35 do 50%. Badano także wpływ pola magnetycznego o bardzo niskiej częstotliwości na produkcję celulazy i kwasu cytrynowego przez grzyby pleśniowe – *Aspergillus niger*. Po przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że grzyb ten produkuje więcej kwasu cytrynowego, a aktywność celulazy wzrasta pod wpływem czasu ekspozycji na pole magnetyczne oraz wartość indukcji. Jednak efekt ten był zależny od struktury chemicznej metabolitu [10]. Właściwości elektryczne, jak i magnetyczne wykazują wszystkie tkanki budujące organizmy żywe. Należy również wspomnieć o pulsacyjnym polu elektrycznym, którego wykorzystanie w przemyśle winiarskim daje pozytywne efekty [11, 12], które są zależne od częstotliwości aplikowanego pola [13]. Jednocześnie wszystkie badania pokazują, że uzyskiwane efekty zależą w sposób znaczący od poziomu ekspozycji oraz parametrów pola elektromagnetycznego, które wywołuje symulacje, co wskazuje na konieczność skutecznej kontroli i weryfikacji tych parametrów..

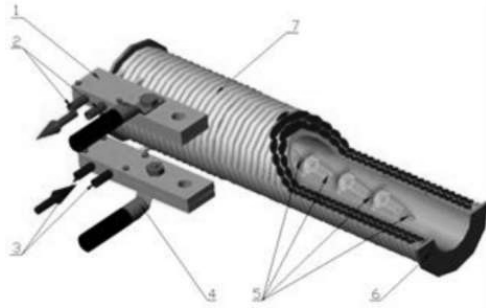
Pierwotne stanowisko pomiarowe

W Instytucie Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie eksploatowano stanowisko pomiarowe, którego elementem roboczym jest solenoid z wymuszonym chłodzeniem wodnym o długości 480 mm i średnicy obszaru ekspozycyjnego 60 mm (rysunek 1). Urządzenie zasilane jest za pomocą specjalnie zaprojektowanego transformatora zasilanego z napięcia 230V o mocy 15 kVA dla częstotliwości 50Hz. Transformator po stronie wtórnej posiada szereg odczepów dzięki którym możliwe było zasilanie wzbudnika różnymi natężeniami prądu. z. Pozwoliło to na zmiany indukcji magnetycznej wewnątrz solenoidu przez zmianę prądu przepływającego przez uzwojenie cewki zgodnie z zależnością (1),

$$B = \frac{\mu_0 \cdot n \cdot I}{L} [T]$$

(1)

gdzie: B - indukcja w solenoidzie [T], μ_0 - przenikalność magnetyczna próżni, n - liczba zwojów solenoidu, I - prąd zasilający solenoid [A], L - długość solenoidu [m].



Rys. 1. Schemat solenoidu do stymulacji magnetycznej: 1 – kłambra zasilająca; 2 – wylot cieczy chłodzącej; 3 – wlot cieczy chłodzącej; 4 – przewody zasilające; 5 – materiał biologiczny; 6 – karkas; 7 – uzwojenie

Wzajemne powiązanie dwóch czynników: indukcji magnetycznej i czasu stymulacji pozwala na określenie wpływu obu parametrów na przebieg oddziaływania pola magnetycznego na badany materiał. Jako miarę wiążącą oba parametry wprowadzono pojęcie dawki ekspozycyjnej, co umożliwia porównanie ze sobą kolejnych kombinacji indukcji magnetycznej i czasu przy zachowaniu stałej dawki., ponieważ możliwe jest w przypadku stymulacji materiału badawczego

uzyskanie podobnego efektu przez zwiększenie lub zmniejszenie zastosowanej indukcji magnetycznej i zmianę czasu stymulacji zgodnie zależnością (2)

$$D = \frac{10^7}{4 \cdot \pi} \cdot B^2 \cdot t_e [J \cdot m^{-3}]$$

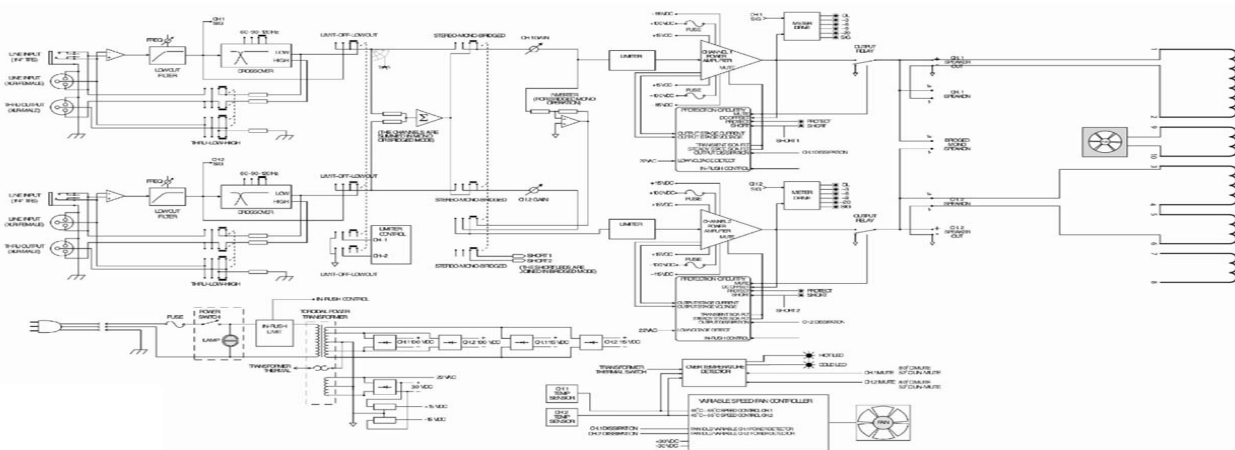
(2)

gdzie: B-indukcja magnetyczna [T], t_e - czas ekspozycji [s].

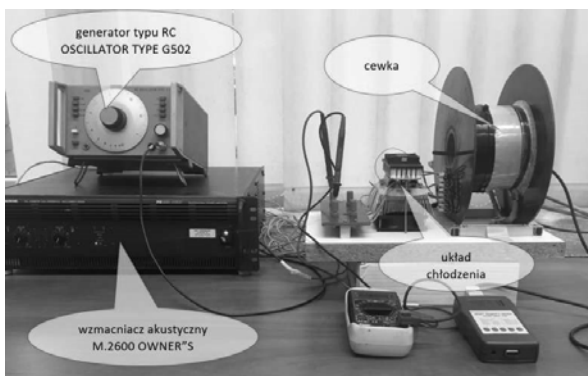
Układ pozwala uzyskanie wewnątrz solenoidu indukcji magnetycznej 20 mT, 40 mT, 70 mT oraz 90 mT przy częstotliwości 50 Hz.

Zmodyfikowane stanowisko pomiarowe

Doświadczenia przeprowadzone na istniejącym stanowisku pozwoliły na przyjęcie założeń dla nowego układu ekspozycyjnego przyjęto, że średnica wewnętrzna solenoidu wynosiła będzie 5cm (w obliczeniach przyjęto, że karkas ma grubość ścianek max. 2mm), długość solenoidu 10cm a konstrukcja powinna umożliwić osiągnięcie indukcji do 70 mT. Do zasilania układu zastosowano generator sygnałowy typu RC OSCILLATOR TYPE G502, który generuje sygnał sinusoidalny oraz prostokątny w zakresie częstotliwości od 10 Hz do 100 kHz i napięciu, wyjściowym regulowanym płynnie w zakresie 0 - 5 V AC (sk), Sygnał z generatora zasila wzmacniacz mocy pasma akustycznego typu M.2600o mocy ok. 2000W.



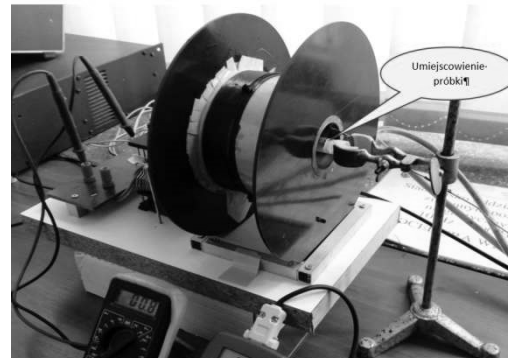
Rys. 2. Schemat funkcjonalny modyfikowanego układu ekspozycyjnego pola magnetycznego 10-100Hz



Rys. 3. Widok układu do stymulacji polem magnetycznym małych częstotliwości substancji organicznych

Obciążeniem wzmacniacza i właściwym układem ekspozycyjnym jest solenoid posiadający . trzy niezależne uzwojenia, które można dowolnie konfigurować uzyskując

żądane parametry pola elektromagnetycznego (rys.2). Cewka wyposażona jest w ciekowy system chłodzenia uzwojeń, a całe stanowisko przedstawiono na rysunku 3.. Dla częstotliwości 50 Hz do uzyskania indukcji 50 mT prąd płynący przez cewkę wynosi ok. 3,5 A przy napięciu 80 V, przy takich parametrach moc tracona w cewce wynosi ok. 250 W.



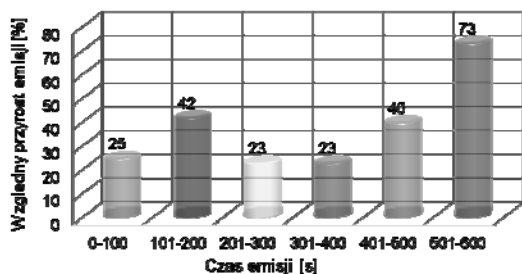
Rys. 4. Usytuowanie próbki z substancją biologiczną do stymulacji polem elektromagnetycznym

Materiał poddawany stymulacji umieszczony jest w próbówce wewnątrz rdzenia cewki generującej pole magnetyczne (rys. 4). Umieszczenie stymulowanego materiału biologicznego w osi symetrii solenoidu w próbówce o średnicy nie większej niż 1/2 średnicy wewnętrznej cewki pozwala uzyskać jednorodne natężenia pola w całej objętości próbki z nierównomiernością poniżej 5. Czas ekspozycji materiału dobierany jest w zależności od scenariusza badań. Natężenie pola magnetycznego w przestrzeni ekspozycji kontrolowano miernikiem SMS z sondą hallotronową.

Wyniki badań stymulacji magnetycznej

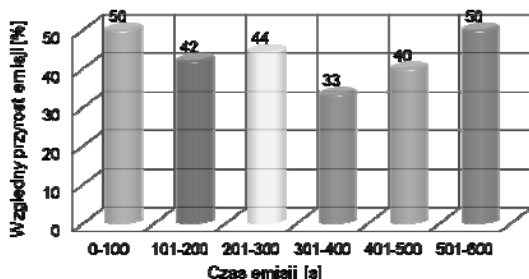
Zaprojektowane stanowisko wykorzystano do stymulacji próbek miodu pszczelego przyjmując stały czas ich ekspozycji, natomiast jako zmienną przyjęto częstotliwość pola magnetycznego. i. Stosowano pola magnetyczne o częstotliwościach od 10 Hz do 100 Hz w krokach co 10 Hz natomiast czas stymulacji zawsze wynosił 300 s. Jako metodę oceny wpływu stymulacji posłużono się luminescencją wtórną stymulowanego materiału [14]. Czas emisji fotonów ustalono doświadczalnie na 600 s., a próbki miodu przed pomiarem emisji fotonowej poddawano standardowej stabilizacji wykorzystywanej w tego typu testach.

Dla pierwszej zastosowanej częstotliwości – 10 Hz stwierdzono, że różnice względne w wartości emisji wynosiły ponad 20% w każdym z analizowanych przedziałów czasowych (rys. 5).



Rys. 5. Różnica względna w emisji fotonów z substancji biologicznej stymulowanej polem magnetycznym o częstotliwości 10Hz a emisją fotonów próby zerowej (substancja biologiczna bez stymulacji)

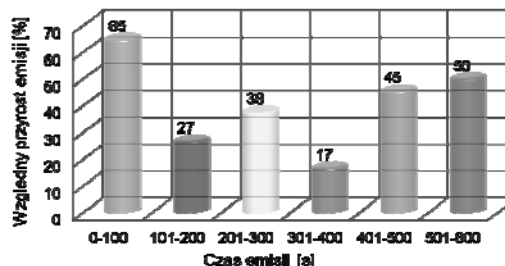
Należy zauważyć wyraźny wzrost emisji w końcowym etapie doświadczenia (501s-600s), gdzie różnica względem próby nie stymulowanej wynosiła aż 73%, co więcej emisja fotonów miała charakter oscylacyjny w czasie. Nieco odmienną, bo bardziej stabilną charakterystykę emisji uzyskano przy stymulacji substancji organicznej polem o częstotliwości 20 Hz (rys. 6), gdzie zmiany względem próbki odniesienia dochodziły do 50% ale zakres zmienności w czasie nie przekroczył 20 %.



Rys. 6. Różnica względna w emisji fotonów z substancji biologicznej stymulowanej polem elektromagnetycznym wynoszącym 20 Hz a emisją fotonów próby zerowej (substancja biologiczna bez stymulacji)

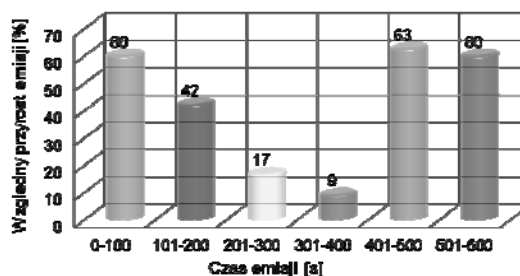
W analizowanej kombinacji doświadczenia odnotowano wyraźnie zróżnicowanie emisji substancji stymulowanej w stosunku do emisji substancji bez stymulacji, której średnia różnica względna w obrębie sumarycznego czasu emisji fotonów w komorze światłoszczelnej wynosiła 43%. Znacznie

mniej wyrównaną strukturą zróżnicowania wartości emisji charakteryzowała się substancja organiczna stymulowana polem elektromagnetycznym o częstotliwości 30 Hz (rys. 7). Największe zróżnicowanie emisji substancji w stosunku do substancji nie stymulowanej – 65% odnotowano w pierwszych 100 sekundach interwałów czasowych emisji fotonów. Najmniejszą wartością zróżnicowania emisji fotonów wynoszącą tylko 17% w stosunku do próby kontrolnej odnotowano w od 300 do 400 sekund. Podobną charakterystyką zróżnicowania emisji charakteryzowała się substancja stymulowana polem magnetycznym o częstotliwości 40 Hz, a jej średnia różnica względem próbki zerowej wynosiła 43%.



Rys. 7. Różnica względna w emisji fotonów z substancji biologicznej stymulowanej polem elektromagnetycznym wynoszącym 30 Hz a emisją fotonów próby zerowej (substancja biologiczna bez stymulacji)

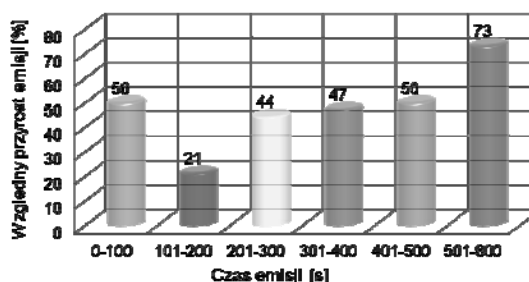
Na rysunku 8 przedstawiono różnice względne w wartościach emisji fotonowej między substancją stymulowaną polem elektromagnetycznym o częstotliwości 50 Hz.



Rys. 8. Różnica względna w emisji fotonów z substancji biologicznej stymulowanej polem elektromagnetycznym wynoszącym 50 Hz a emisją fotonów próby zerowej (substancja biologiczna bez stymulacji)

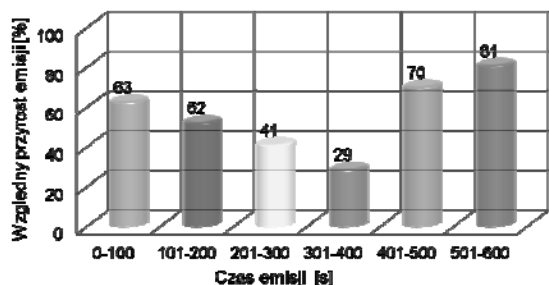
Odnotowano, że zróżnicowanie w emisji fotonów przekraczało 60% w pierwszym i dwóch ostatnich interwałach czasowych. Minimalne różnice względne emisji - 17% i 9% - odnotowano w środkowej części odcinka pomiarowego.

Zgola inaczej wyglądały efekty stymulacji polem magnetycznym o częstotliwości 80 Hz. W tym przypadku emisja fotonów rosła wraz z czasem ekspozycji (rys. 9). Maksymalne zróżnicowanie wartości emisji przekraczające 70% odnotowano w końcowym okresie ekspozycji.



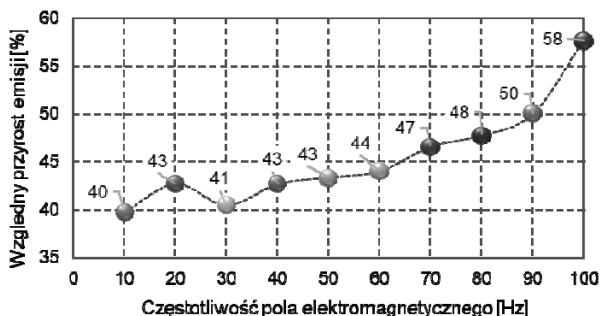
Rys. 9. Różnica względna w emisji fotonów z substancji biologicznej stymulowanej polem elektromagnetycznym wynoszącym 80 Hz a emisją fotonów próby zerowej (substancja biologiczna bez stymulacji)

W przypadku stymulacji substancji organicznej polem elektromagnetycznym o częstotliwości wynoszącej 100 Hz stwierdzono, że różnica względna w emisji fotonów między próbka stymulowaną i nie stymulowaną w końcowej fazie emisji wynosiła aż 81% (rys. 10). Najniższe różnice względne wynoszące 27% odnotowano w środkowej części czasu ekspozycji materiału w komorze światłoszczelnej, gdzie dokonywano zliczeń pojedynczych fotonów. Natomiast zróżnicowanie w odniesieniu do czasu ekspozycji miało charakter podobny do efektów odnotowanych dla substancji stymulowanej polem magnetycznym o częstotliwości 50 Hz (patrz rys. 8).



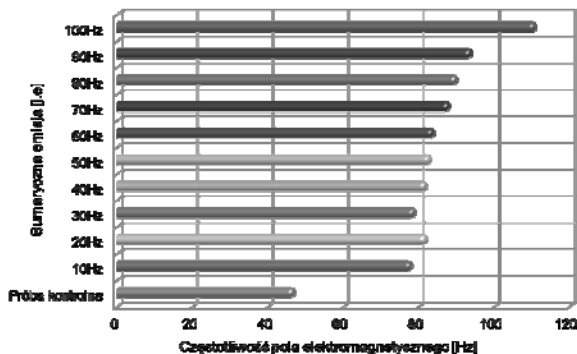
Rys. 10. Różnica względna w emisji fotonów z substancji biologicznej stymulowanej polem elektromagnetycznym wynoszącym 100 Hz a emisją fotonów próby zerowej (substancja biologiczna bez stymulacji)

Biorąc pod uwagę całe spektrum częstotliwości pola magnetycznego, którego używano do stymulacji (rys.11) można stwierdzić, że średnia wartość różnicy względnej w emisji fotonowej między próbkami materiału stymulowanymi i tymi bez stymulacji rosła ze wzrostem częstotliwości pola magnetycznego.



Rys. 11. Emisja fotonowa substancji organicznej w relacji z częstotliwością pola elektromagnetycznego, którego stymulacji była poddawana

Wyraźny wzrost zróżnicowania emisji nastąpił dopiero po przekroczeniu 50 Hz i osiągnął maksimum dla 100Hz (rys. 11)..



Rys. 12. Emisja fotonowa substancji organicznej w relacji z częstotliwością pola elektromagnetycznego, którego stymulacji była poddawana

Na rysunku 12 przedstawiono wartości bezwzględne sumarycznej liczby zarejestrowanych fotonów emitowanych przez substancję organiczną stymulowaną polem elektromagnetycznym o zróżnicowanej częstotliwości.

Podsumowanie

Zbudowane stanowisko pomiarowe pozwala na stymulację substancji organicznych w szerokim zakresie parametrów pola elektromagnetycznego dając nowe możliwości interpretacyjne reakcji substancji organicznych na ekspozycję na pole magnetyczne. Po ostatecznym zwalidowaniu stanowiska możliwe będzie określanie nieznanych dotychczas charakterystyk interakcji pola elektromagnetycznego i substancji organicznych i identyfikacja występujących ewentualnie synergizmów.

Autorzy: dr hab. inż. Paweł Bieńkowski, prof. PWr, Politechnika Wroclawska, Katedra Telekomunikacji I Teleinformatyki, ul. Janiszewskiego 9, 50-372 Wrocław, E-mail: pawel.bienkowski@pwr.wroc.pl; dr inż. Tomasz DRÓZDŹ, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: tomasz.drozd@ur.krakow.pl, dr hab. inż. Paweł KIEŁBASA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: pawel.kielbasa@urk.edu.pl, dr inż. Piotr NAWARA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: piotr.nawara@urk.edu.pl, mgr inż. Ernest POPARDOWSKI, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: ernest.popardowski@urk.edu.pl,

LITERATURA

- [1] Lipiec J., Janas P., Barabasz W., Effecto of oscillating magnetic field pulses on the survival of selected microorganisms, International Agrophysics, (2004), nr 18
- [2] Marks N., Wpływ zmiennego pola magnetycznego na straty przechowalnice bulw ziemniaka, Inżynieria Rolnicza, (2005), nr 10 (70), s. 295-302
- [3] Mertens B., Knorr D., Development of nontemperatural process for food preservation, Food Technology, (1992) 46 (5)
- [4] Marek Ostafin; Anna Miernik; Tomasz Drózdź; Piotr Nawara; Maciej Gliniak; Paweł Kielbasa; Sylwester Tabor.: „The effect of alternating magnetic field on biofilm formation by saccharomyces cerevisiae yeast” 2017 Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE), Koscielisko, Poland, 2017, pp. 1-5. doi: 10.1109/PAEE.2017.8009012 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8009012&isnumber=8008978>.
- [5] Rochalska M. 2009. Wpływ pól elektromagnetycznych na flore i faune. Medycyna pracy, 60(1), 43.
- [6] Marks N., Szcówka P. 2010. Wpływ stymulacji sadzeniaków zmiennym polem magnetycznym na kształt bulw ziemniaka. Inżynieria Rolnicza, 14, 181-188.
- [7] Królasik J. 2005. Biofilm-mikrobiologiczna strategia przetrwania. Przegląd Piekarski i Cukierniczy, 53(11).
- [8] Dąbrowski M., Stankiewicz W., Gietka A., Biłkowska J., Sobiech J., Dąbrowski M. P. 2010. Przeciwbakteryjne działanie pola elektromagnetycznego. Przegląd Elektrotechniczny, 86, 182-184.
- [9] Inhan-Garip A., Aksu B., Akan Z., Akakin D., Ozaydin A. N., San T. 2011. Effect of extremely low frequency electromagnetic fields on growth rate and morphology of bacteria. International journal of radiation biology, 87(12), 1155-1161.
- [10] Gao M., Zhang J., Feng H. 2011. Extremely low frequency magnetic field effects on metabolite of Aspergillus niger. Bioelectromagnetics, 32(1), 73-78.
- [11] Korzeniewska, E., Gałazka-Czarnecka, I., Czarnecki, A., Piekarska, A., Krawczyk, A. 2018. Influence of PEF on antocjans in wine. Przegląd Elektrotechniczny, nr 94(1), pp. 57-60.
- [12] Gocławski, J., Sekulska-Nalewajko, J., Korzeniewska, E., Piekarska, A. 2017. The use of optical coherence tomography for the evaluation of textural changes of grapes exposed to pulsed electric field. Computers and Electronics in Agriculture, 142, pp. 29-40.
- [13] Marek Ostafin, Karol Bulski, Tomasz Drózdź, Piotr Nawara, Krzysztof Nęcka, Stanisław Lis, Paweł Kielbasa, Marcin Tomasiak, Maciej Oziembłowski. 2016. Wpływ zmiennego pola elektromagnetycznego na wzrost drożdży Yarrowia lipolytica. Przegląd Elektrotechniczny nr 12, S. 117-121.
- [14] Karolina Trzyniec, Paweł Kielbasa, Maciej Oziembłowski, Magdalena Drózdź, Piotr Nawara, Zdzisław Posyłek, Renata Leja. 2017. Using photons emission to evaluate the quality of apples. Przegląd Elektrotechniczny, nr 12, s. 183-187.