

Analiza i symulacja wpływu pola elektromagnetycznego na funkcje życiowe drobnoustrojów

Streszczenie. Tematem artykułu jest sprawdzenie wpływu promieniowania elektromagnetycznego na funkcje życiowe bakterii *Bacillus subtilis* oraz jej zdolność do wytwarzania przetrwalników. Przedstawiono także projekt rzeczywisty oraz wirtualny stanowiska badawczego w laboratorium biologicznym w programie ANSYS Maxwell.

Abstract. The theme of the article is to check the impact of electromagnetic radiation on vital functions of bacteria *Bacillus subtilis* and its ability to produce spores. There were presented the real and virtual project in a biological laboratory in ANSYS Maxwell programme, too. (**Analysis and simulation of the impact of electromagnetic fields on the vital functions of microbes**)

Słowa kluczowe: MES, symulacja komputerowa, pole elektromagnetyczne, mikroorganizmy

Keywords: FEM, computer simulation, electromagnetic field, microorganisms

Wstęp

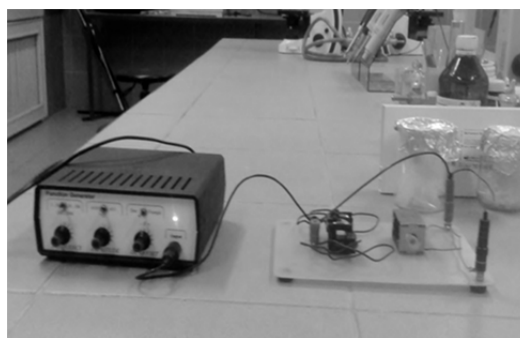
W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych dotyczących wpływu promieniowania elektromagnetycznego na funkcje życiowe bakterii *Bacillus subtilis* oraz jej zdolność do wytwarzania przetrwalników. Badania biologiczne przeprowadzono w Instytucie Chemii, Ochrony Środowiska i Biotechnologii oraz w Instytucie Edukacji Technicznej i Bezpieczeństwa (projekt wirtualny) AJD w Częstochowie. Stanowisko badawcze w postaci modelu technicznego wykonano w Instytucie Telekomunikacji i Kompatybilności Elektromagnetycznej Politechniki Częstochowskiej oraz Instytucie Techniki UP w Krakowie.

Bakterie z rodzaju *Bacillus* są bardzo powszechne. Można je izolować zarówno z wód, gleb czy powietrza, ale również z produktów spożywczych, oraz przewodów pokarmowych zwierząt. Są to gram-dodatnie względnie cienkie laseczki, ruchliwe, o niewielkich wymaganiach życiowych. Większość gatunków należących do tego rodzaju jest saprofityczna i ma zdolność rozkładania związków organicznych. Laseczki *Bacillus subtilis* są modelem drobnoustrojem, używanym w badaniach mikrobiologicznych, głównie w aspekcie tworzenia form przetrwalnych [1]. Ich szczególną cechą jest to, iż są praktycznie niepodatne na zmiany warunków temperaturowych i pH środowisk, a także innych czynników fizycznych i chemicznych. Możliwość tak szerokiego spektrum bytowania, mikroorganizmy te osiągnęły dzięki zdolności do szybkiego wzrostu oraz przetrwalnikowania [2] Przetwalniki tej bakterii są niezwykle odporne na szkodliwe działanie środowiska i mogą pozostać w stanie uśpienia nawet kilka lat. Jeśli jednak warunki bytowania staną się bardziej sprzyjające laseczki te powracają bardzo szybko do form natywnych [3].

Stanowisko pomiarowe

W celu przeprowadzenia eksperymentu skonstruowano stanowisko pomiarowe składające się z generatora funkcyjnego oraz cewki będącej źródłem pola elektromagnetycznego (rys.1).

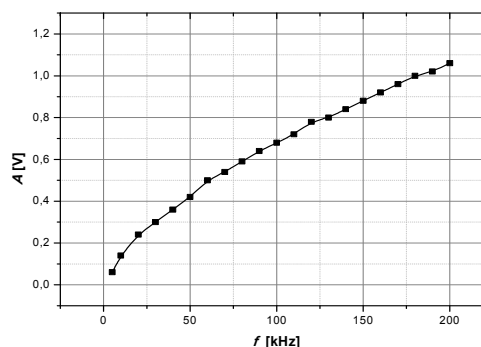
Wewnątrz cewki umieszczano probówkę zawierającą zawiesinę komórek bakteryjnych w bulionie odżywczym. Generator funkcyjny był źródłem sygnału pomiarowego zasilającego cewkę. Wytwarzał on sygnał o przebiegu sinusoidalnym o maksymalnej amplitudzie o wartości 1,2V oraz okresie o wartości maksymalnej 4,8 μ s. Cewkę nawinięto drutem o grubości 0,1mm tworząc 100 zwojów na rdzeniu z tworzywa sztucznego o średnicy 20mm [4,5].



Rys.1 Stanowisko badawcze

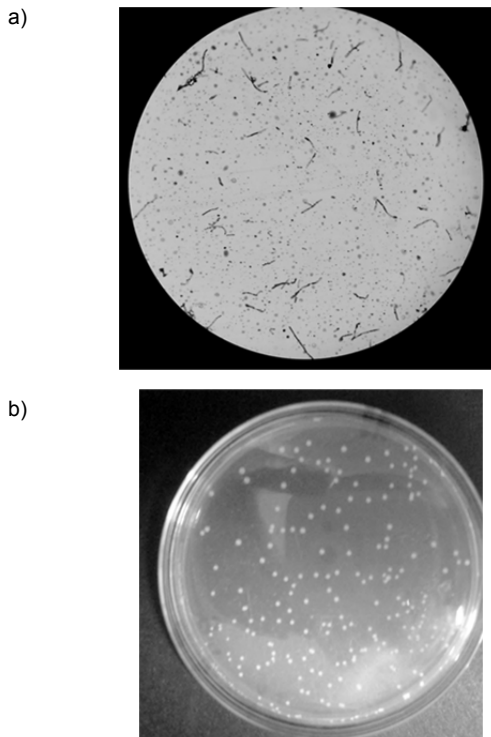
Parametry cewki pomiarowej dobrano na podstawie licznych wcześniejszych badań [6] dotyczących między innymi dokładności i czułości takich przetworników wykorzystywanych w pomiarach grubości warstw ochronnych i w defektoskopii [7,8].

Charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową cewki pomiarowej przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2 Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa cewki pomiarowej

Osiemnastogodzinną hodowlę bulionową *Bacillus subtilis* umieszczono w dwóch jałowych probówkach Eppendorf o pojemności 0,5ml. Jedną z probówek umieszczono wewnątrz cewki pomiarowej i wystawiono na oddziaływanie pola elektromagnetycznego. Drugą probówkę pozostawiono w warunkach normalnych, jako próbę kontrolną. Obie próby inkubowano w temperaturze pokojowej przez sześć godzin. W celu określenia stanu komórek bakteryjnych oraz ilości spor, co godzinę zliczano komórki żywe, przetrwalnikujące oraz w pełni wykształcone przetrwalniki.



Rys.3 Widok obserwowanych komórek bakteryjnych: a) widok z mikroskopu, b) widok ogólny próbki

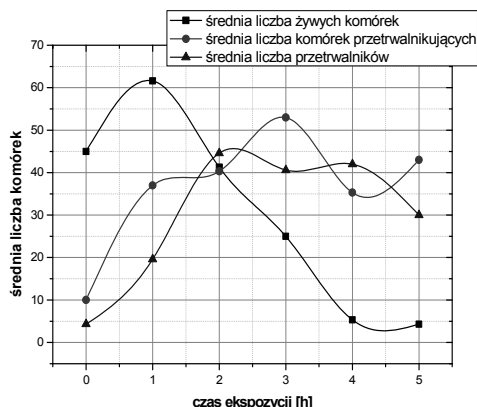
Z uzyskanych wyników wyciągnięto średnią (rys.4a i 4b). Na rysunku 4a przedstawiono uśrednione wartości liczby żywych komórek, liczby komórek przetrwalikujących oraz liczby przetrwalników po ekspozycji w polu elektromagnetycznym. W ciągu pierwszej godziny zaobserwowano wzrost liczby wszystkich komórek oraz przetrwalników. W ciągu drugiej godziny ilość żywych komórek zaczyna spadać podczas gdy liczba komórek przetrwalikujących i przetrwalników wzrasta. W trakcie następnych trzech godzin eksperymentu liczba żywych komórek znacznie się zmniejszyła aby w ostatniej godzinie osiągnąć stabilizację na bardzo niskim poziomie. Liczebność komórek przetrwalikujących i przetrwalników waha się w granicy czterdziestu.

Na rysunku 4b pokazano uśrednione wartości liczby żywych komórek, liczby komórek przetrwalikujących oraz liczby przetrwalników dla próbki kontrolnej znajdującej się poza polem magnetycznym. Podobnie jak dla próbki badanej w trakcie pierwszej godziny zanotowano wzrost liczby wszystkich komórek i przetrwalników. Tym razem jednak wzrost liczby żywych komórek był znacznie większy podczas gdy liczba komórek przetrwalikowych i przetrwalników wzrasta ale w znacznie mniejszym stopniu niż dla próbki badanej. W ciągu kilku następnych godzin następuje ciągły spadek liczby komórek żywych podczas gdy liczba komórek przetrwalikujących po początkowym niewielkim spadku ustala się na poziomie powyżej dziesięciu. Natomiast liczba przetrwalników ustala się na poziomie nieznacznie poniżej dziesięciu.

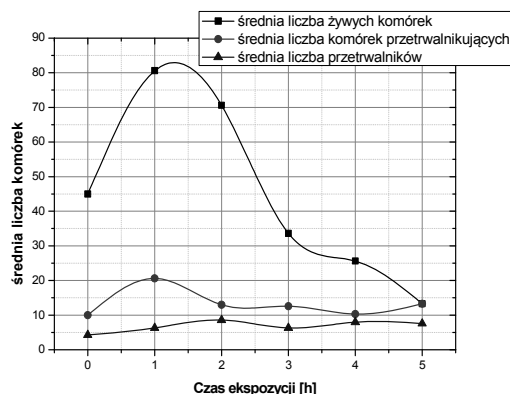
Uzyskane wyniki badań potwierdzają założoną tezę, iż istnieje korelacja pomiędzy występującym polem elektromagnetycznym a obserwowaną liczebnością komórek *B. subtilis*. W miarę upływu czasu w którym bakterie pozostawały pod wpływem pola elektro-magnetycznego, zaobserwowano wyraźny spadek liczby komórek żywych, wzrost komórek przetrwalikujących i w pełni wykształconych spor. W próbie kontrolnej liczba komórek przetrwalikowych i przetrwalników nieznacznie się waha w ciągu pięciu godzin badania, a liczba komórek żywych

maleje jednak osiąga wyższą liczebność w porównaniu do próby wystawionej na ekspozycję w polu magnetycznym.

a)

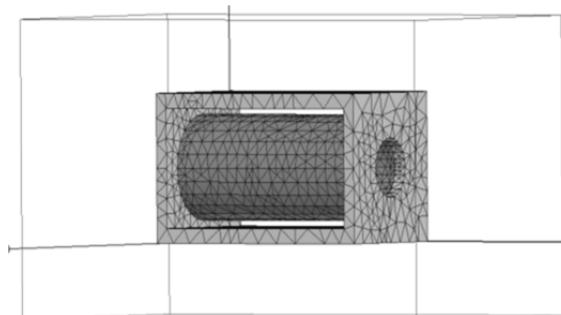


b)

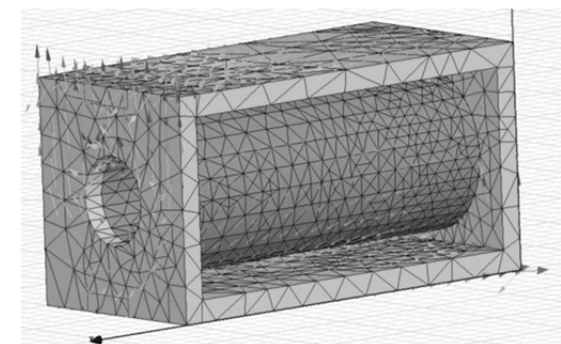


Rys. 4 Wyniki pomiarów liczby komórek: a) po ekspozycji w polu elektromagnetycznym; b) dla próbki kontrolnej

a)



b)



Rys. 5 Model cewki pomiarowej symulowanej za pomocą MES w programie ANSYS Maxwell: a) widok siatki w przestrzeni trójwymiarowej 3D naniesionej na model cewki; b) obraz wyników symulacji działania cewki z widocznymi wektorami indukcji magnetycznej

W celu zaprojektowania stanowiska badawczego wykorzystano symulację komputerową za pomocą metody elementów skończonych (MES) w programie ANSYS Maxwell. Projekt ten pozwolił na dobór odpowiednich własności stanowiska pomiarowego w celu poprawy sprawności parametrów generowanego pola elektromagnetycznego. Otrzymane rezultaty można wykorzystać do przeprowadzania dalszych i dokładniejszych badań w projekcie badawczym (rys.5a, 5b). Ponadto dzięki programowi ANSYS Maxwell można również zaprojektować odpowiedni układ zasilający cewkę co w odniesieniu do konstrukcji zastosowanego elementu elektromagnetycznego daje możliwości dowolnej konfiguracji modelu badawczego w zakresie badań mikrobiologicznych [9,10,11,12]. Wydaje się, iż opisana metoda projektowa może posłużyć za wzór do symulacji pola elektromagnetycznego na przykład w nowych metodach terapii polem elektromagnetycznym w zarówno w aspekcie medycznym jak i technicznym [13,14].

Podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono że:

- Pole magnetyczne w znaczny sposób wpływa na liczebność komórek bakterii użytych do eksperymentu.
- Zmiany liczby komórek pod wpływem działania pola elektromagnetycznego można wykorzystać w badaniach biologicznych i medycznych [17]. Na ich podstawie można bowiem wnioskować o sposobie i tempie tworzenia przetrwalników u innych, bardziej niebezpiecznych szczepów mikroorganizmów, takich jak np. laseczka jadu kiełbasianego *Clostridium botulinum*, czy też laseczka wąglika *Clostridium anthracis*.
- Metoda elementów skończonych wykorzystana w projekcie stanowiska badawczego może być przydatna do zaplanowania stanowiska laboratoryjnego z wykorzystaniem dostępnych podzespołów elektrotechnicznych oraz oceny ich przydatności, wprowadzenia innowacji technologicznych w układzie jak i wstępnej oceny planowanego środowiska pracy.
- Ponadto, zgodnie z wynikami badań pedagogicznych dotyczących efektywności kształcenia z wykorzystaniem deterministycznych symulacji komputerowych w kształceniu technicznym i ogólnym, powyższy program komputerowy może być wykorzystany w metodzie projektów czy metodzie problemowej, nie tylko w zakresie badań mikrobiologicznych.
- Zaletą oprogramowania ANSYS Maxwell jest prosty interfejs oraz w pełni zautomatyzowany proces obliczeniowy wymagający od użytkownika jedynie stworzenia lub wczytania geometrii, przypisania własności materiałowych oraz określenia interesujących użytkownika wyników analizy np. obliczania indukcyjności. Wykorzystując technologię adaptacyjnego tworzenia siatki program sam generuje odpowiednią siatkę elementów skończonych, dzięki czemu symulacja przestaje być skomplikowanym zagadnieniem.
- Deterministyczne symulacje komputerowe mające charakter oprogramowania interakcyjnego (dialogowego i specjalistycznego) znajdują swoje miejsce również w procesie dydaktycznym, albowiem są praktyczną odpowiedzią na powszechnie głoszone postulaty konektywizmu oraz konstruktywizmu w nowoczesnym kształceniu opartym na technologii informatycznej i informacyjnej [16,17].

Autorzy: dr Dominika Olszewska, e-mail: olszewska.mika@gmail.com; dr Tomasz Prauzner, Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie, Instytut Edukacji Technicznej i Bezpieczeństwa, Al. Armii Krajowej 13/15, 42-218 Częstochowa, e-mail: matomptra@poczta.onet.pl, tel. 508178818; dr Paweł Ptak, Politechnika Częstochowska, Instytut Telekomunikacji i Kompatybilności Elektromagnetycznej, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: p.ptak@o2.pl; dr hab. Henryk Noga, profesor UP, Instytut Techniki, Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, e-mail: senoga@cyf-kr.edu.pl

LITERATURA

- [1] Setlow P., *Germination of Spores of Bacillus Species: What We Know and Do Not Know*, Journal Bacteriol, (2014) Apr; 196 (7): 1297/05.
- [2] May P., Morton D., Zhou E., *The design of a ferrite-cored probe*, Sensors and Actuators, A 136 s. 221-228.
- [3] Wayne L. N., Nobuo M., i in. *Resistance of Bacillus Endospores to Extreme Terrestrial and Extraterrestrial Environments*, Microbiol Mol Biol Rev, 64(3) (2000), 548–572.
- [4] Prauzner T., Ptak P., *Analiza parametrów pracy wybranych czujników pola magnetycznego*, Przegląd Elektrotechniczny, 90 (2014), nr.12, s.273-276
- [5] Prauzner T., *Finite Element Method in an analysis of selected parameters of an inductive sensor for protective coatings measurements*, Przegląd Elektrotechniczny, 91 (2015), nr.12, 205-208
- [6] Janiczek R., Ptak P., *Przetworniki indukcyjnościowe w pomiarach grubości warstw wierzchnich*, Przegląd Elektrotechniczny, (2007) nr.1, 86-90
- [7] Ptak P., Borowik L., *Dobór częstotliwości i rodzaju sygnału czujnika indukcyjnego na potrzeby pomiaru grubości wielowarstwowych powłok ochronnych*, Przegląd Elektrotechniczny, (2012), nr.12b, 245-247
- [8] Ptak P., Borowik L., *Analiza wpływu częstotliwości sygnału na czułość czujnika indukcyjnego do pomiarów grubości powłok ochronnych*, Przegląd Elektrotechniczny, (2013), nr.12, 269-271
- [9] Prauzner T., *Effectiveness of magnetic detectors in alarm systems*, Przegląd Elektrotechniczny, 90 (2014), 12, 269-272
- [10] Ptak P., Prauzner T., *Badanie czujników detekcji zagrożeń w systemach alarmowych*, Przegląd Elektrotechniczny, 10 (2013), 274-276
- [11] Prauzner T., *Zakłócenia elektromagnetyczne w elektronicznych systemach alarmowych*, Przegląd Elektrotechniczny, 88 (2012), nr.12b, 205-208
- [12] Migo P., Noga, H., *Start-up of SSTC semiconductor tesla coil - an example of an educational project*, Przegląd Elektrotechniczny, Volume 1, Issue 12, (2015), 167-169
- [13] Murawski P., Krawczyk A., Kowalski A., Kalicki B., Mróz J., Iwaniszczuk A., Łada-Tondyra E., *Nowe podejście do projektowania urządzeń używanych w terapii polem elektromagnetycznym*, Przegląd Elektrotechniczny, R.91 (2015), nr.12, 170-172
- [14] Miaskowski A., Krawczyk A., Łada-Tondyra E., *Electromagnetic field in transcranial magnetic stimulation*, Przegląd Elektrotechniczny, (2014), Nr.12, 244-246
- [15] Oziębłowski M., Drózd T., Wrona P., *Oddziaływanie Pulsacyjnych Pól Elektrycznych (PEF) na mikroorganizmy w kontekście technologii żywności*, Przegląd Elektrotechniczny, (2013), nr.12, 222-226
- [16] Kozík T., Noga, H., Depešová, J., *The symptoms of postmodernism in media and multimedia*, European Journal of Science and Theology, Volume 11, Issue 6, (2015), 119-125
- [17] Noga H., Piaskowska-Silarska M., Depešová J., Pytel K., Migo P., *Neuro - didactic perspective of creative attitude towards education in the third millennium - examination of individual cases*, Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA) IEEE 12th International Conference, (2014), 355-360