

Badanie i symulacja oddziaływania zmiennego pola elektromagnetycznego na rozwój mikroorganizmów

Streszczenie. W artykule przedstawiono efekty badań dotyczących wpływu promieniowania elektromagnetycznego na funkcje życiowe bakterii *Staphylococcus epidermidis*, *Serratia marcescens*, *Bacillus mycoides* oraz *Escherichia coli* oraz ich zdolność do wytwarzania przetrwalników. Przedstawiono także projekt rzeczywisty oraz wirtualny stanowiska badawczego w laboratorium biologicznym w programie ANSYS Maxwell.

Abstract. The paper presents effects of research on the influence of electromagnetic radiation on the vital functions of *Staphylococcus epidermidis*, *Serratia marcescens*, *Bacillus mycoides* and *Escherichia coli* and their ability to produce spores. A virtual and real-life research project in ANSYS Maxwell's biological laboratory was also presented. (**Study and simulation of electromagnetic field interactions on microbial growth**)

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

Keywords: FEM, computer simulation, microorganisms, electromagnetic field

Wstęp

Głównym celem badań było ustalenie, jaki wpływ na poszczególne grupy mikroorganizmów ma zmienne pole elektromagnetyczne. Pierwszy etap stanowiło pozyskanie szczepów, które miały zostać wykorzystane do doświadczenia. Bakterie izolowano ze środowiska: *Staphylococcus epidermidis* oraz *Serratia marcescens* ze skóry ludzkiej, *Bacillus mycoides* z gleby oraz *Escherichia coli* z surowego mięsa. Bakterie oznaczono przy pomocy testów biochemicznych, oraz podłoży selekcyjnych i wybiórczych. Ponadto zaprezentowano model MES cewki indukcyjnej, dzięki któremu oceniono skuteczność i parametry pola magnetycznego, w którym umieszczano badane próbki. Projekt ten jest również przykładem wykorzystania innowacyjnych metod badawczych opartych na komputerowych programach symulacyjnych w naukach technicznych i medycynie.

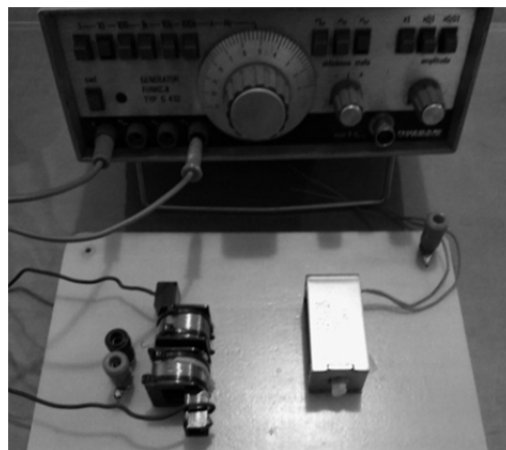
Charakterystyka materiału badawczego

Staphylococcus epidermidis to gramododatni ziarenkowiec, tworzący charakterystyczne zgrupowania komórki w kształcie kiści winogron. Zdecydowana większość gronkowców stanowi florę bakteryjną skóry i przedstonków nosa kręgowców. Bakterie należące do tego rodzaju są względnie beztlenowe. *Staphylococcus epidermidis*, jest patogenem oportunistycznym i w większości wypadków nie stanowi poważnego zagrożenia dla człowieka. *Serratia marcescens* jest gramujemną, nieprzetrwalnikującą laseczką. Jej komórki są urzęsione i mają zdolność ruchu. Charakterystyczną cechą tej bakterii jest zdolność do wytwarzania czerwonego barwnika – prodigiosyny. Jest patogenem oportunistycznym, powodującym zakażenia dróg moczowych u osób z obniżoną odpornością. *Bacillus mycoides* to tlenowe, gramododatnie laseczki, mające zdolność do wytwarzania przetrwalników, są niegroźne dla człowieka. Komórki tych bakterii, mogą mieć końce proste lub zaokrąglone. Na podłożach rosną w charakterystyczny, rozpełzliwy sposób. W preparatach tworzą łatwe do rozpoznania łańcuszki. *Escherichia coli* to z kolei krótką, prostą, tlenową, gramujemną pałeczkę. *E. coli* jest peritrychalnie urzęsiona, jednak wykazuje niewielką zdolność ruchu. Wiele szczepów wytwarza cienkie mikrootoczki, które mają znaczenie nie tylko w serologicznej klasyfikacji wewnątrzgatunkowej, ale także w chorobotwórczości. Najważniejsze cechy biochemiczne to

zdolność fermentacji laktozy w temperaturze 44° C z wytworzeniem kwasu i gazu oraz rozkładanie tryptofanu do indolu. Stanowią one element naturalnej mikroflory jelitowej ssaków [1].

Badania na stanowisku laboratoryjnym

Po dwudziestu czterech godzinach hodowle bulionowe bakterii umieszczono wewnątrz jałowych probówek Eppendorf – po dwie dla każdego ze szczepów o pojemności 0,5 ml. Jedną z probówek wystawiono na działanie silnego pola elektromagnetycznego. Stanowisko składa się z uniwersalnego generatora przebiegu napięć sterującego zmiennym napięciem na cewce. Właściwe parametry techniczne oraz dobór ustawień pracy generatora sygnału pomiarowego ustalono między innymi poprzez pilotażowe wykonanie modelu wirtualnego cewki.

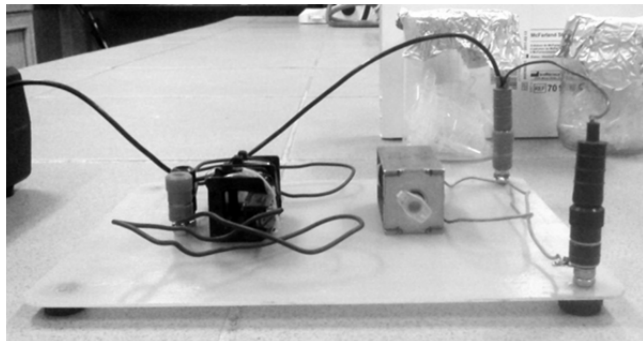


Rys. 1. Widok ogólny stanowiska badawczego [źródło własne]

Na rys.1 i 2 pokazano widok stanowiska badawczego, a na rys. 2 przedstawiono widok cewki pomiarowej, w której umieszczano badane próbki [2,3,4]. Stanowisko pomiarowe składało się z generatora funkcyjnego oraz cewki będącej źródłem pola elektromagnetycznego. Wewnątrz cewki umieszczano badane próbki zawierającą zawieszinę komórek bakteryjnych w odżywcze. Źródłem sygnału pomiarowego zasilającego cewkę był generator funkcyjny. Sygnał pomiarowy miał kształt sinusoidalny, gdzie maksymalna amplituda miała wartość 1,2 V a okres wynosił

4,8 μ s. Cewka pomiarowa składała się ze 100 zwojów drutu o grubości 0,1 mm nawiniętych na rdzeniu z tworzywa sztucznego o średnicy 20 mm.

Czas inkubacji w polu elektromagnetycznym wynosił dwanaście godzin. Drugą próbkę pozostawiono jako próbę kontrolną. Testy przeprowadzono w temperaturze pokojowej, w warunkach tlenowych. Co cztery godziny pobierano 0,1ml próby i wysiewano metodą posiewu mazanego, na szalki Petriego z agarem odżywczym.



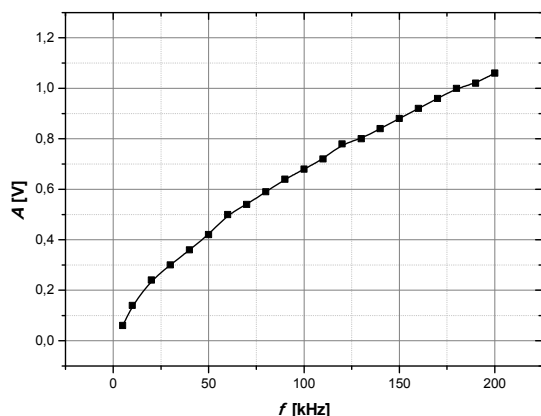
Rys. 2. Widok stanowiska badawczego [źródło własne]



Rys. 3. Cewka pomiarowa użyta do badań [źródło własne]

Po dwudziestu czterech godzinach inkubacji wykonano odczyt posianych płytek i policzono wyrosłe kolonie. Następnie policzono CFU/ml dla każdego ze szczepów bakterii (zarówno dla próby badanej jak i kontroli). Badania każdego szczepu przeprowadzono trzykrotnie, zachowując te same warunki inkubacji. Następnie wyciągnięto średnie arytmetyczne z uzyskanych wyników.

Na rys. 4 zobrazowano charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową cewki pomiarowej.

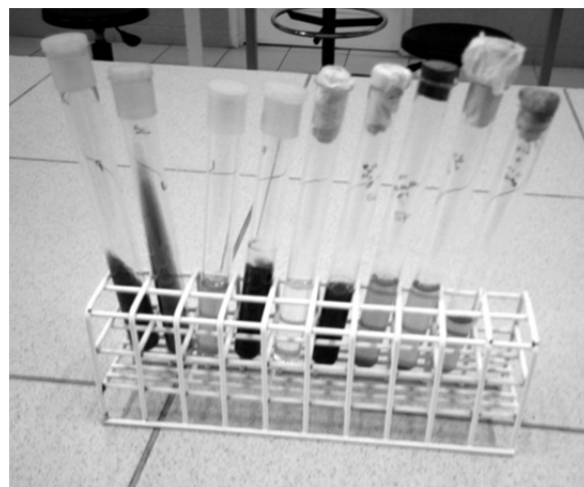


Rys. 4. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa cewki pomiarowej [5]

Uzyskane wyniki pokazują, iż zmienne pole magnetyczne wywiera niewielki wpływ na funkcje życiowe wybranych bakterii.

Wyniki badań laboratoryjnych

Na rysunku 5 przedstawiono widok panelu biochemicznego zastosowanego do badań.



Rys. 5. Panel biochemiczny zastosowany do badań laboratoryjnych

Na dwóch kolejnych rysunkach pokazano próbki drobnoustrojów odpowiednio: *Serratia Martecescens* na rys. 6 oraz *Staphylococcus Epidermidis* na rys. 7.

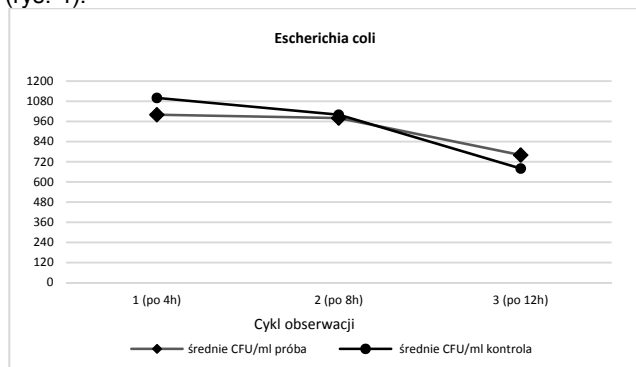


Rys. 6. Widok ogólny próbki drobnoustrojów *Serratia martecescens*

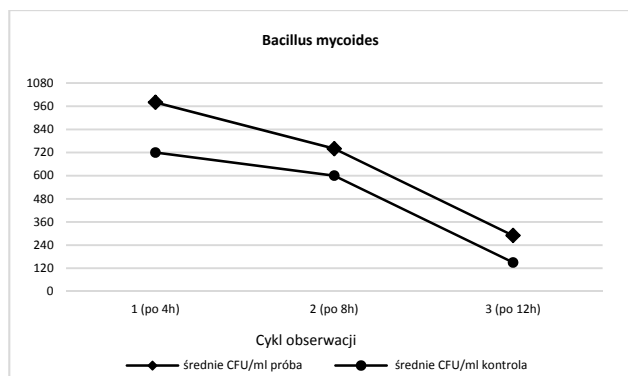


Rys. 7. Widok ogólny próbki drobnoustrojów *Staphylococcus Epidermidis*

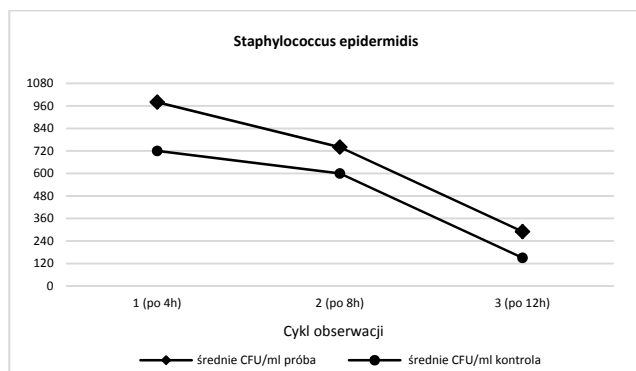
Po wykonaniu badań ilościowych zaobserwowano niewielki spadek CFU/ml dla *Escherichia coli* (rys.8) i *Bacillus mycoides* (rys.9) w stosunku do prób kontrolnych (rys.10). W przypadku tego ostatniego mikroorganizmu, spowodowane to było najprawdopodobniej indukcją wytwarzania przetrwalników [5]. W przypadku *Staphylococcus epidermidis*, nie zaobserwowano istotnych różnic w liczebności kolonii, pomiędzy kontrolą, a szczepem wystawionym na oddziaływanie pola elektromagnetycznego (rys. 4).



Rys. 8. Liczebności kolonii *Escherichia coli* dla próbki badanej i kontrolnej



Rys. 9. Liczebności kolonii *Bacillus mycoides* dla próbki badanej i kontrolnej



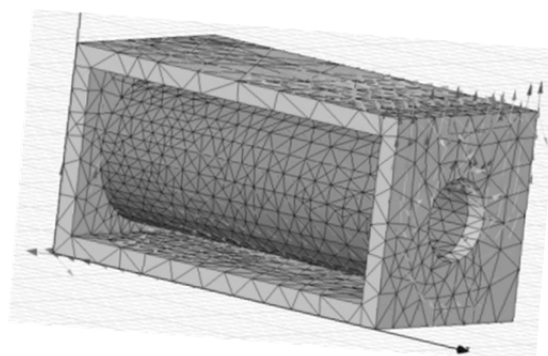
Rys. 10. Liczebności kolonii *Staphylococcus epidermidis* dla próbki badanej i kontrolnej

W przypadku *Serratia marcescens*, widoczny był niewielki wzrost wartości CFU/ml w porównaniu z próbami kontrolnymi. Na podstawie kolejnych analiz stwierdzono, że krótkotrwała ekspozycja na zmienne pole elektromagnetyczne wywiera niewielki wpływ na mikroorganizmy izolowane ze środowiska naturalnego, co różni je w pewnym stopniu od szczepów laboratoryjnych [6,7].

Spowodowane to może być tym, że dzięki szczepy bakterii posiadają szereg mechanizmów naprawczych materiału genetycznego i białek, co pozwala im na przeżycie i podział w warunkach podwyższonego promieniowania elektromagnetycznego.

Projekt środowiska wirtualnego

W celu zaprojektowania stanowiska badawczego (cewki oraz układu zasilającego) wykorzystano symulację komputerową za pomocą metody elementów skończonych (MES) w programie ANSYS Maxwell. Programy symulacyjne znajdują szerokie zastosowanie w przygotowaniu projektów inżynierskich i wirtualnej ocenie poprawności założeń technicznych [8-11]. 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 przyszłości (rys.5).



Rys. 5. Model cewki pomiarowej symulowanej przy pomocy MES w programie ANSYS Maxwell z widocznymi wektorami indukcji magnetycznej [źródło własne]

Podsumowanie

W przypadku bakterii *Serratia marcescens*, widoczny był niewielki wzrost wartości CFU/ml w porównaniu z próbami kontrolnymi. Na podstawie kolejnych analiz stwierdzono, że krótkotrwała ekspozycja na zmienne pole elektromagnetyczne wywiera niewielki wpływ na mikroorganizmy izolowane ze środowiska naturalnego, co różni je w pewnym stopniu od szczepów laboratoryjnych. Spowodowane to może być tym, że dzięki szczepy bakterii posiadają szereg mechanizmów naprawczych materiału genetycznego i białek, co pozwala im na przeżycie i podział w warunkach podwyższonego promieniowania elektromagnetycznego [12-17]. Zastosowanie metody elementów skończonych w projekcie stanowiska badawczego pozwala na wstępne testy i optymalny dobór stanowiska laboratoryjnego z wykorzystaniem dostępnego podzespołów elektrotechnicznych, oceny ich przydatności, wprowadzenia innowacji technologicznych w układzie jak i wstępnej oceny zaprojektowanego środowiska pracy [18]. Ponadto, zgodnie z aktualnymi wynikami badań pedagogicznych dotyczących efektywności kształcenia z wykorzystaniem nowoczesnych pomocy dydaktycznych (m.in. deterministycznych symulacji komputerowych) w kształceniu technicznym (politechnicznym), wspomniany program komputerowy może być wykorzystany w metodzie projektów czy metodzie problemowej oraz być przykładem praktycznego wykorzystania metod analitycznych w innych obszarach nauk na przykład w zakresie badań mikrobiologicznych [19]. Zastosowanie programów symulacyjnych sprzyja rozwiązywaniu nie tylko problemów inżynierskich, ale również odzwierciedla aktualny trend innowacji dydaktycznych wspomagających proces

poznawczy w kształceniu politechnicznym [20]. Jest albowiem praktyczną odpowiedzią na powszechnie głoszone postulaty kognitywizmu oraz konstruktywizmu w nowoczesnej edukacji opartej na TI.

Autorzy: dr hab. Henryk Noga, Profesor UP, Instytut Techniki, Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, dr Dominika Olszewska, Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie, Instytut Chemii, Ochrony Środowiska i Biotechnologii, Al. Armii Krajowej 13/15, 42-218 Częstochowa, dr Paweł Ptak, Politechnika Częstochowska, Instytut Optoelektroniki i Systemów Pomiarowych, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: p.ptak@o2.pl; dr Tomasz Prauzner, Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie, Instytut Techniki i Systemów Bezpieczeństwa, Al. Armii Krajowej 13/15, 42-218 Częstochowa, e-mail: matomp@poczta.onet.pl, mgr inż. Piotr Migo, Zakład Dydaktyki Przedmiotów Technicznych i Informatycznych, Instytut Techniki, Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, e-mail: piotrmigo@gmail.com

LITERATURA

- [1] Szewczyk E.M., Diagnostyka bakteriologiczna, Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, PWN Warszawa 2005
- [2] Ptak, P., Borowik, L., Dobór częstotliwości i rodzaju sygnału czujnika indukcyjnego na potrzeby pomiaru grubości wielowarstwowych powłok ochronnych. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, (2012) nr 12b, 245-247
- [3] Prauzner T., Ptak P., Analiza parametrów pracy wybranych czujników pola magnetycznego, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), Nr 12, 273-276
- [4] Ptak P., Prauzner T., Badania czujników detekcji zagrożeń w systemach alarmowych, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, (2013), nr.10, 274-276
- [5] Olszewska D., Prauzner T., Ptak P., Noga H., Analiza i symulacja wpływu pola elektromagnetycznego na funkcje życiowe drobnoustrojów. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 92 (2016), nr 12, 191-193
- [6] Fojt L., Strašák L., Vetterl V., Šmarda J., Comparison of the low-frequency magnetic field effects on bacteria *Escherichia coli*, *Leclercia adecarboxylata* and *Staphylococcus aureus*, *Bioelectrochemistry*, Volume 63 (2004), Issues 1-2, 337-341
- [7] Blankenship E.R., Schaafsma J.T., Parson W.W., Magnetic field effects on radical pair intermediates in bacterial photosynthesis *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, Volume 461 (1977), Issue 2, 297-305
- [8] Migo P., Noga, H., Start-up of SSTC semiconductor tesla coil - an example of an educational project, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, (2015), nr 12, 167-169
- [9] Zagirnyak M., Prus V., Nikitina A., Miljavec D., Research of energy processes in circuits containing iron in saturation condition, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, (2011), nr 3, 149 – 152
- [10] Jakubiec B., Computer model of electric vehicle drive system fed from hybrid energy storage system (Model napędu pojazdu elektrycznego z hybrydowym zasobnikiem energii), *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 92 (2016), nr 12, 57-60
- [11] Olesiak K., Selected Problems of the Asynchronous Drive Control with the Three-phase Soft-start System. Conference: Symposium on Mechatronics Systems, Mechanics and Materials, Jastrzebia Gora, Poland, 2013, Mechatronic Systems, Mechanics And Materials II, Book Series: *Solid State Phenomena*, Vol. 210 (2014), 245-251
- [12] Mazurek P., Kisiel K., Tomczyk P., Wiak M., Analiza emisji elektromagnetycznej w środowisku przemysłowym na przykładzie Zakładów Azotowych Puławy S.A., *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 90 (2014), nr 12, 240-243
- [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 (Electrical Review)*, 91 (2015), nr 12, 170-172
- [14] Rochalska M., Wpływ pól elektromagnetycznych na florę i faunę (The influence of electromagnetic fields on flora and fauna), *Medycyna Pracy*, 60(1), (2009), 43-50
- [15] Szatyłowicz E., Skoczko I., Możliwości wykorzystania pola magnetycznego w inżynierii środowiska, *Inżynieria środowiska – młodym okiem*, (2015), t.13
- [16] Hong F.T., Magnetic field effects on biomolecules, cells, and living organisms, *Biosystems*, Volume 36 (1995), Issue 3, 187-229
- [17] Vyalov A.M., Influence of magnetic fields on biological objects, Springfield, Virginia National Technical Information Service, (1974), 163-174
- [18] Prauzner T., Interactive computer simulation as a response to contemporary problems of technical education, *Society. Integration. Education*, Proceedings of the International Scientific Conference, (2016), Volume II, Rēzekne, Latvia, 579-588
- [19] Prauzner T., The effectiveness of school education - featured implications considerations, *Society. Integration. Education*, Proceedings of the International Scientific Conference, (2017), Volume III, 558-564
- [20] Prauzner T., Analysis of the results of the pedagogical research and EEG in the aspect of effective modern teaching aids in the technical education, *Society. Integration. Education*, Proceedings of the International Scientific Conference, (2015), Volume IV, Latvia, Rēzekne, 480-489