

## Wpływ zmiennego pola elektromagnetycznego na biofilm utworzony przez *Candida albicans*

**Streszczenie:** Celem badań było zbadanie oddziaływania zmiennego pola elektromagnetycznego o różnych natężeniach na dojrzałą strukturę biofilmu utworzonego przez drożdże *Candida albicans*. Drożdże były hodowane na pożywce YPD na płytkach Petriego, w cieplarni, w temp. 28°C przez 48 godzin. Płynne hodowle *Candida albicans* prowadzono na pożywce YNB z dodatkiem 2% glukozy w kolbach Erlenmeyera, na wytrząsarce, w temp. 28°C przy 180 rpm. W celu wytworzenia jednorodnego pola elektromagnetycznego użyto solenoidu o długości 48cm i średnicy 6cm. Doświadczenie polegało na poddaniu dojrzałego biofilmu działaniu pola elektromagnetycznego o zmiennym natężeniu, a co za tym idzie, zmiennych wartościach indukcji magnetycznej, odpowiednio 20 mT, 40mT, 70mT i 90mT. Badania dowiodły, że w większości przypadków pole elektromagnetyczne nie oddziałuje w sposób znaczący na dojrzały biofilm. Najwyższe wartości gęstości optycznej zaobserwowano przy natężeniu 20 mT i pięciu i pół oraz sześciu godzinach ekspozycji (kolejno 0,248 MF i 0,166 MF).

**Abstract:** The aim of the study was to investigate the impact of variable electromagnetic field of various intensities on the mature structure of the biofilm formed by the yeast *Candida albicans*. The yeast was grown on YPD medium on Petri dishes, in an incubator at 28 ° C for 48 hours. Liquid cultures of *Candida albicans* were grown on YNB medium with the addition of 2% glucose in Erlenmeyer flasks, on a shaker at 28 ° C at 180 rpm. In order to create a homogeneous electromagnetic field, a solenoid with a length of 48 cm and a diameter of 6 cm was used. The experiment consisted of subjecting the mature biofilm to the action of an electromagnetic field of variable intensity, and thereby, variable magnetic induction values of 20 mT, 40 mT, 70 mT and 90 mT, respectively. The research shown that in most cases the electromagnetic field does not significantly effect on a mature biofilm. The highest optical density values were observed at 20 mT and five and a half and six exposure hours (successively 0.248 MF and 0.166 MF). (The influence of the variable electromagnetic field on the biofilm formed by *Candida albicans*).

**Słowa kluczowe:** biofilm, drożdże, *Candida albicans*, pole elektromagnetyczne, solenoid

**Key words:** biofilm, yeast, *Candida albicans*, electroimagnetic field, solenoid

### Wstęp

Biofilm to najbardziej rozpowszechniony typ występowania mikroorganizmów w naturze. Nasze postrzeganie mikroorganizmów opiera się na wyobrażeniu, jakie pozostawiają nam warunki laboratoryjne, a mianowicie mikroorganizmy jako jednokomórkowe formy życia [1, 2]. Postrzeganie to oparte jest często na obserwacji kolonii czystych kultur. Jednakże, większość mikroorganizmów w środowisku naturalnym wiąże się z podłożem, tworząc struktury biofilmu, w przeciwieństwie do utrzymujących się, jako wolno pływające. Biofilm jest spoiwem mikroorganizmów, przyklejających się do powierzchni i przyłączonych do egzopolimerów macierzy. W ostatnich latach znacznie wzrosło zainteresowanie tymi strukturami, szczególnie w kontekście ich wykorzystania w medycynie. Udowodniono, że 65% wszystkich ludzkich infekcji powodowanych przez drobnoustroje ma związek z tworzeniem przez nie biofilmu. Badania nad mikroorganizmami bardzo często obejmują procedury oparte na autonomicznych komórkach w zawiesinie lub na jednostkach tworzących kolonie. Fakt ten niesie ze sobą daleko idące konsekwencje, ponieważ takie formy wzrostu rzadko występują w naturalnych warunkach, a ich właściwości i cechy fenotypowe drastycznie odbiegają od cech, które reprezentuje powszechnie występujący biofilm. Przykładami takich cech mogą być: podwyższona odporność na środki antybakteryjne i przeciwrzybiczne, a także rozbieżności mechanizmów obronnych przed układem immunologicznym gospodarza [3, 4]. Przykładem warstw antybakteryjnych i przeciwrzybiczych mogą być np. cienkie warstwy metaliczne [5, 6]. Różne gatunki *Candida* posiadają zdolność do produkcji biofilmu, który wykazuje wzmożoną odporność na mechanizmy obronne nosiciela i leki przeciwrzybiczne stosowane w leczeniu kandydozy. Kandydoza, ze względu na jej powszechność, zachorowalność, śmiertelne skutki oraz koszty leczenia jest poważnym problemem w szpitalach specjalistycznych na całym świecie. Szacuje się, że znaczna liczba przypadków kandydozy wynika z

zastosowania coraz nowszych i bardziej agresywnych, inwazyjnych metod leczenia, przy użyciu których pojawia się wysokie ryzyko infekcji i produkcji biofilmu przez *Candida*, a co za tym idzie niebezpieczeństwo rozwinięcia się kandydoz systemowych, które mogą prowadzić do śmierci. Pomimo terapii antygrzybiczych, śmiertelność pacjentów z inwazyjnymi kandydozami może sięgać do 40% [1, 7, 8].

Komórki *Candida* osiadają na materii biologicznej oraz powierzchni wszczepionych pacjentom urządzeń medycznych lub samych tkankach nosiciela, formując biofilm stanowiący często ognisko potencjalnej infekcji. W sytuacji, kiedy dojdzie do wytworzenia biofilmu przez *Candida albicans in vivo*, w celu eliminacji zakażenia, jedynym rozwiązaniem jest usunięcie podłoża, które wspiera jego rozwój [9, 10]. Zdaje się to być konieczne niemal w każdym przypadku. Niestety w wielu sytuacjach usunięcie tego typu urządzeń jest niemożliwe, w związku ze stanem zdrowia pacjenta, lokalizacją anatomiczną lub chorobą, którą spowodowane było zastosowanie takiego urządzenia. W związku z tym, profilaktyka jest jedyną bezpieczną metodą walki z biofilmem tego grzyba.

### Metody

Badania przeprowadzono w Instytucie Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. W celu wytworzenia jednorodnego pola elektromagnetycznego użyto solenoidu o długości 48cm i średnicy 6cm. Ze względu na fakt, że pole elektromagnetyczne o równomiernym działaniu znajduje się w części centralnej cewki, jako powierzchni roboczej użyto 40cm długości solenoidu [11,12]. Drożdże hodowano na pożywce stałej YPD z dodatkiem 2% agaru (Yeast extract Peptone Dextrose) (Tabela 1), oraz na płynnej pożywce YNB (Yeast Nitrogen Base) (Tabela 2). Pożywki sterylizowano w autoklawie przez 15 minut w temp. 121°C przy 1 atm. Do przemywania komórek wykorzystywano roztwór buforu PBS (Tabela 3).

Tabela 1.  
Skład pożywki stałej YPD w g na 1000cm<sup>3</sup>

Składnik	Zawartość (g/1000cm <sup>3</sup> )
Agar (Biocorp)	20
Ekstrakt drożdżowy (Biocorp)	10
Glukoza (Chempur)	20
Pepton (A&A Biotechnology)	20

Tabela 2.  
Skład pożywki płynnej YNB z dodatkiem glukozy w g na 1000cm<sup>3</sup>

Składnik	Zawartość (g/1000cm <sup>3</sup> )
Nitrogen Base (Biocorp)	16,7
Glukoza (Chempur)	20

Tabela 3.  
Skład buforu PBS w g na 1000cm<sup>3</sup>

Składnik	Zawartość (g/1000cm <sup>3</sup> )
NaCl (Biocorp)	8
KCl (Chempur)	0,2
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (Chempur)	1,44
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (Chempur)	0,24

Drożdże *Candida albicans* przesiewano na płytki Petriego na pożywkę stałą YPD z dodatkiem agaru i hodowano w cieplarni w temp. 28°C przez 48 godzin. Po tym czasie drożdże przesiewano do kolb Erlenmayera, na podłoże płynne YNB z dodatkiem glukozy i hodowano na wytrząsarce w temp. 28°C przy 180 rpm przez 72 godziny. Następnie próbki poddano oddziaływaniu zmiennego pola elektromagnetycznego o wartościach: 20, 40, 70 i 90 mT. Czas oddziaływania zmiennego pola elektromagnetycznego wynosił: 1, 2, 3, 4, 4,5, 5, 5,5 i 6 godzin. Równolegle prowadzono hodowle bez oddziaływania zmiennego pola elektromagnetycznego. Po tym czasie hodowle przemywano trzykrotnie buforem PBS, następnie suszono przez 45 minut na wolnym powietrzu i barwiono fioletem krystalicznym przez 45 minut. Po tym czasie próbki przemywano wodą, pozostawiano do wyschnięcia i odbarwiano przez 45 minut 96% etanolem. Po tym czasie odbierano 200 µl i mierzono gęstość optyczną spektrofotometrem przy długości fali 595 nm.

## Wyniki

### Wpływ pola zmiennego elektromagnetycznego na dojrzały biofilm

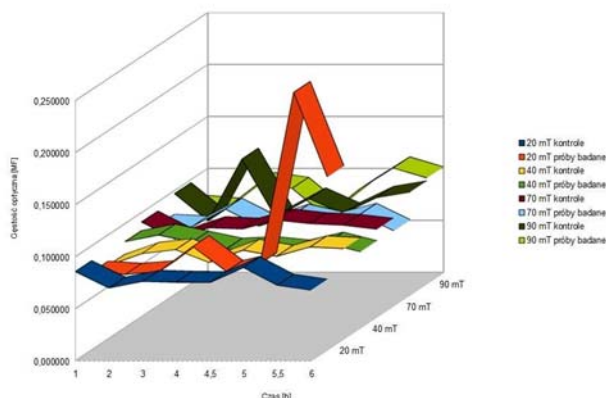
Najwyższe wartości gęstości optycznej zaobserwowano przy natężeniu 20 mT i pięciu i pół oraz sześciu godzinach ekspozycji (kolejno 0,248 MF i 0,166 MF). Duże różnice wartości w czasie zaobserwowano także dla 90 mT, gdzie wysokimi wartościami absorbancji odznaczały się próbki przy pięciu i pół i sześciu godzinach absorbancji. Najniższe wartości prezentowały próbki przy natężeniu 90 mT i czasie ekspozycji wynoszącym cztery i pół godziny (0,065 MF). Jest to jednak wynik podobny do większości cechujących się niskimi wartościami absorbancji próbek.

W przypadku próbek kontrolnych nie zaobserwowano znaczących różnic wartości. Wyniki absorbancji utrzymują się na stałym poziomie. Największa, choć nieznacząca różnica to 0,130400 MF (dla 90 mT przy trzech godzinach) do 0,068000 MF (przy 20 mT i sześciu godzinach).

Nie zaobserwowano statystycznie istotnych różnic w gęstości optycznej pomiędzy próbkami, niezależnie od czasu ekspozycji i natężenia pola ( $p > 0,05$ ). Nie stwierdzono również istotnych różnic w gęstości optycznej pomiędzy większością próbek kontrolnych, a próbkami wystawionymi na działanie pola elektromagnetycznego ( $p > 0,05$ ). Jedyne różnice zaobserwowano przy natężeniu 20 mT i pięciu i pół godzinach ekspozycji (kolejno 0,073/0,248 MF).

Analiza wyników wskazuje, że wartości absorbancji charakteryzują się dużym podobieństwem. Nie widać diametralnych różnic w żadnej z grup ze względu na natężenie, choć najwyższe wyniki odnotowano w grupie,

gdzie zastosowano natężenie 90 mT. Nie zaobserwowano także dużych zmian absorbancji w zakresie czasu inkubacji, choć największą wariacją wyników charakteryzują się wyniki przy 90 mT (Rys. 1).



Rys. 1. Wpływ pola elektromagnetycznego na dojrzały biofilm

### Analiza statystyczna wyników doświadczenia związanego z oddziaływaniem zmiennego pola elektromagnetycznego na dojrzały biofilm *Candida albicans*.

Do analizy statystycznej danych wykorzystano program Statistica 12 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Dane poddano wieloczynnikowej analizie wariancji (ANOVA), a istotność różnic pomiędzy średnimi zweryfikowano testem Tukey'a ( $\alpha = 0,05$ ).

Próbki z zakresu natężenia 20 mT charakteryzuje największa wariacja odczytów absorbancji zarówno pod kątem czasu ekspozycji próbek badanych, jak i odpowiadających im kontroli. Pole elektromagnetyczne zdaje się oddziaływać dodatnio na biofilm przy pięciu i pół godzinach ekspozycji. Najwyższe wartości gęstości optycznej dla próbek badanych zaobserwowano przy pięciu i pół oraz sześciu godzinach ekspozycji (kolejno 0,248 MF i 0,166 MF). Próba badana przy pięciu i pół godzinach ekspozycji znacząco odbiega od próbki badanej, natomiast próbka przy sześciu godzinach odbiega w sposób nie istotny. Najniższe wartości gęstości optycznej dla próbek badanych zaobserwowano przy dwóch godzinach ekspozycji (0,072600 MF). Jest to wartość, która nie odbiega w sposób istotny od kontroli. Najwyższą wartością wśród kontroli charakteryzuje się próbka odpowiadająca pięciu godzinom ekspozycji (0,089600 MF), natomiast najniższą wartość reprezentuje kontrola odpowiadająca sześciu godzinom (0,068000 MF).

Tabela 4. Wpływ pola elektromagnetycznego na dojrzały biofilm przy natężeniu 20 mT

Natężenie [mT]	Czas [h]	Gęstość optyczna [MF]	Czas [h] - kontrola	Gęstość optyczna [MF]
20	1	0,074800 *	1 K1	0,085800 a
	2	0,072600 a	2 K2	0,070000 a
	3	0,075200 a	3 K3	0,076400 a
	4	0,099400 a	4 K4	0,075600 a
	4,5	0,075400 a	5 K5	0,075200 a
	5	0,082800 a	6 K6	0,089600 a
	5,5	0,247600 b	7 K7	0,072800 a
	6	0,166200 ab	8 K8	0,068000 *

\*Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $p = 0,05$  (test NIR Fishera/ test HSD Tukey'a)

Próbki z zakresu natężenia 40 mT charakteryzuje absorbancja na stałym poziomie zarówno dla próbek

badanych, jak i odpowiadających im kontroli. Pole elektromagnetyczne nie oddziałuje na biofilm niezależnie od czasu ekspozycji. Najwyższe wartości gęstości optycznej dla próbek badanych zaobserwowano przy dwóch godzinach ekspozycji (0,089200 MF). Próba badana przy dwóch godzinach ekspozycji nie odbiega jednak w sposób znaczący od kontroli. Najniższe wartości gęstości optycznej dla próbek badanych zaobserwowano przy pięciu i sześciu godzinach ekspozycji (kolejno 0,073800 MF i 0,073200 MF), wyniki te również nie wykazują znaczących odchyłeń od kontroli. Najwyższą wartością wśród kontroli charakteryzuje się próbka odpowiadająca pięciu i pół godzinom ekspozycji (0,088400 MF), natomiast najniższą wartość reprezentuje kontrola odpowiadająca jednej godzinie (0,070600 MF).

Tabela 5. Wpływ pola elektromagnetycznego na dojrzały biofilm przy natężeniu 40 mT

Natężenie [mT]	Czas [h]	Gęstość optyczna [MF]	Czas [h] - kontrola	Gęstość optyczna [MF]
40	1	0,082800 a *	1 K1	0,070600 a
	2	0,089200 a	2 K2	0,082000 a
	3	0,082400 a	3 K3	0,085800 a
	4	0,075600 a	4 K4	0,073400 a
	4,5	0,077200 a	5 K5	0,085200 a
	5	0,073800 a	6 K6	0,079400 a
	5,5	0,081400 a	7 K7	0,088400 a
	6	0,073200 a	8 K8	0,086800 a *

\*Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $p=0,05$  (test NIR Fishera/ test HSD Tukey'a)

Próbki z zakresu natężenia 70 mT charakteryzuje absorbancja na stałym poziomie zarówno dla próbek badanych, jak i odpowiadających im kontroli. Pole elektromagnetyczne nie oddziałuje na biofilm niezależnie od czasu ekspozycji. Najwyższe wartości gęstości optycznej dla próbek badanych zaobserwowano przy trzech godzinach ekspozycji (0,093000 MF). Próba badana przy dwóch godzinach ekspozycji nie odbiega jednak w sposób znaczący od kontroli. Najniższe wartości gęstości optycznej dla próbek badanych zaobserwowano przy sześciu godzinach ekspozycji (0,072200 MF), wyniki te również nie wykazują znaczących odchyłeń od kontroli. Najwyższą wartością wśród kontroli charakteryzuje się próbka odpowiadająca czterem i pół godzinom ekspozycji (0,093000 MF), natomiast najniższą wartość reprezentuje kontrola odpowiadająca dwóm godzinom (0,074600 MF).

Tabela 6. Wpływ pola elektromagnetycznego na dojrzały biofilm przy natężeniu 70 mT

Natężenie [mT]	Czas [h]	Gęstość optyczna [MF]	Czas [h] - kontrola	Gęstość optyczna [MF]
70	1	0,077400 a *	1 K1	0,091200 a
	2	0,07580 a	2 K2	0,074600 a
	3	0,093000 a	3 K3	0,085600 a
	4	0,076600 a	4 K4	0,084400 a
	4,5	0,087200 a	5 K5	0,093000 a
	5	0,079800 a	6 K6	0,089600 a
	5,5	0,088000 a	7 K7	0,088000 a
	6	0,072200 a	8 K8	0,084200 a *

\*Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $p=0,05$  (test NIR Fishera/ test HSD Tukey'a)

Próbki z zakresu natężenia 90 mT charakteryzuje absorbancja na stałym poziomie zarówno dla próbek badanych, jak i odpowiadających im kontroli. Pole elektromagnetyczne nie oddziałuje na biofilm niezależnie od

czasu ekspozycji. Najwyższe wartości gęstości optycznej dla próbek badanych zaobserwowano przy pięciu i pół godzinach ekspozycji (0,111400 MF). Próba badana przy dwóch godzinach ekspozycji nie odbiega jednak w sposób znaczący od kontroli. Najniższe wartości gęstości optycznej dla próbek badanych zaobserwowano przy czterech i pół godzinach ekspozycji (0,065200 MF), wyniki te również nie wykazują znaczących odchyłeń od kontroli. Najwyższą wartością wśród kontroli charakteryzuje się próbka odpowiadająca trzem godzinom ekspozycji (0,130400 MF), natomiast najniższą wartość reprezentuje kontrola odpowiadająca dwóm godzinom (0,071000 MF).

Tabela 7. Wpływ pola elektromagnetycznego na dojrzały biofilm przy natężeniu 90 mT

Natężenie [mT]	Czas [h]	Gęstość optyczna [MF]	Czas [h] - kontrola	Gęstość optyczna [MF]
90	1	0,074400 a *	1 K1	0,097200 a
	2	0,071600 a	2 K2	0,071000 a
	3	0,096400 a	3 K3	0,130400 a
	4	0,091800 a	4 K4	0,074600 a
	4,5	0,065200 a	5 K5	0,092200 a
	5	0,090800 a	6 K6	0,077800 a
	5,5	0,111400 a	7 K7	0,093400 a
	6	0,101800 a	8 K8	0,098800 a *

\*Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $p=0,05$  (test NIR Fishera/ test HSD Tukey'a)

## Wnioski

Badania wykazały, że pole elektromagnetyczne o natężeniu 20 mT ma dodatni wpływ na dojrzały biofilm *Candida albicans*. Efekt ten nie jest widoczny przy innych natężeniach pola i jest zależny od czasu ekspozycji. Do chwili obecnej brak jest badań dotyczących oddziaływania zmiennego pola elektromagnetycznego o niskich natężeniach na biofilm *Candida albicans*. Działając polem na dojrzały biofilm, objętość biofilmu nie została zmieniona. Wynika z tego, że pole elektromagnetyczne nie ma żadnego wpływu na degradację związków budujących macierz i komórki. Nie wiadomo jednak czy ma ono wpływ na ich żywotność lub zmianę fizjologii, ponieważ dojrzały biofilm, osiągając pewne, właściwe mu parametry (tj. objętość, grubość), nie zmienia ich [1]. W badaniach zaobserwowano tendencję do wysokich odczytów absorbancji w zakresie natężenia 20 mT w podobnym czasie działania pola. Podobna tendencja ukazuje się w przypadku najniższych wartości prezentowanych dla natężenia 90 mT i również podobnych czasów. Wynika z tego, że niezależnie od czasu powinno się analizować natężenie, ponieważ absorbancja w czasie nie jest stała dla różnych wartości natężenia.

**Autorzy:** dr inż. Marek Ostafin, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczo – Ekonomiczny, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, E-mail: marek.ostafin@o2.pl, inż. Paulina Lasatowicz, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczo – Ekonomiczny, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, dr inż. Piotr Nawara, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: rtnawara@cyf-kr.edu.pl, dr hab inż. Paweł Kielbasa, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: pawel.kielbasa@urk.edu.pl, dr inż. Tomasz Drózd, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: tomasz.drozd@urk.edu.pl, dr hab. inż. Urszula Malaga-Tobola University of Agriculture in Krakow Faculty of Production and Energy Engineering Cracow, Poland, E-mail: Urszula.Malaga-Tobola@ur.krakow.pl

## LITERATURA

- [1] Melo A. S., Bizerra F. C., Freymüller E., Arthington-Skaggs B., Colombo A.L. 2011. Biofilm production and evaluation of antifungal susceptibility amongst clinical *Candida* spp. isolates, including strains of the *Candida parapsilosis* complex. *Medical Mycology*, 49.3, pp. 253-262.
- [2] Kołwzan B. 2011. Analiza zjawiska biofilmu – warunki jego warunki jego powstawania i funkcjonowania. *Ochrona środowiska*, vol. 33, pp. 3-14
- [3] Ramage G., Martinez J.P., Lopez-Ribot J.L. 2006. *Candida* biofilms on implanted biomaterials: a clinically significant problem, *FEMS Yeast Res* 6, pp. 979–986
- [4] Cortés M.E., Bonilla J.C., Sinisterra R.D. 2011. Biofilm formation, control and novel strategies for eradication [W:] *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances*, Red. A. Mendez-Vilas. Formatex, Badajoz, Spain, pp. 896-905
- [5] Korzeniewska E. 2017 Heat Dissipation Due to Protective Layer of the Electroconductive Deposition Made on Textile Substrate 2017 International Conference On Modern Electrical And Energy Systems (MEES) Pages: 396-399
- [6] Pawlak R.; Korzeniewska E.; Koneczny C., Hałgas B. 2017 Properties Of Thin Metal Layers Deposited On Textile Composites By Using The Pvd Method For Textronic Applications. *Autex Research Journal* Vol. 17 No. 3 pp: 229-237
- [7] Chandra J., Kuhn D.M., Mukherjee P.K., Hoyer L. L., McCormick T., Ghannoum M. A. 2001. Biofilm Formation by the Fungal Pathogen *Candida albicans*: Development, Architecture, and Drug Resistance. *Journal of Bacteriology*, 183.18, pp. 5385–5394
- [8] Lipiec J., Janas W., Barabasz W. 2004. Effecto of oscillating magnetic field pulses on the survival of selected microorganisms. *International Agrophysics*, vol. 18
- [9] Krom B.P., Cohen J.B., McElhaney-Feser G, Bussc, Eher H.J., van der Mei H.C., Cihlar R.L. 2009. Conditions for Optimal *Candida* Biofilm Development in Microtiter Plates, *Candida albicans: Methods and Protocols*, 499, pp. 55-62
- [10] Kurtzman C.P., Fell J.W., Boekhout T. 2011. *Candida albicans* (Robin) Berkhout (1923), *Elsevier Science*, 2, 5, pp. 1001-1004
- [11] Ostafin M., Bulski K., Drózd T., Nawara P., Nęcka K., Lis S., Kiełbasa P., Tomasik M., Oziębłowski M. 2016. Wpływ zmiennego pola elektromagnetycznego na wzrost drożdży *Yarrowia lipolytica*, *Przegląd Elektrotechniczny*, 12, pp. 117-120.
- [12] Ostafin M., Miernik A., Drózd T., Nawara P., Gliniak M., Kiełbasa P., Tabor S.: „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