

Dariusz Szafrowski

Wrocław, 25 kwietnia 2019 r.

*Imię i nazwisko wnioskodawcy*

### **ZAŁĄCZNIK nr 3**

**Autoreferat w języku polskim przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych,**

## Autoreferat habilitacyjny

### A. Imię i nazwisko

Dariusz Szafrowski

### B. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania, tytułu rozprawy doktorskiej i nazwisk osób, które pełniły funkcje promotora i recenzentów

- **Doktor nauk technicznych w dyscyplinie Elektrotechnika** stopień nadany przez Radę Instytutu Energoelektryki politechniki Wrocławskiej w dniu 17 grudnia 2012 roku, na podstawie rozprawy doktorskiej pt.: „Badanie wpływu pola magnetycznego 50 Hz na wybrane organizmy żywe”, Promotor: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Wróblewski, Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Marian Sobierajski, Prof. dr hab. n. med. Grzegorz Mazur.

*Doktorat obroniony z wyróżnieniem. Praca doktorska przedstawiona przez Senat Politechniki Wrocławskiej do nagrody Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, jako najlepsza praca napisana w 2012 roku.*

- Świadectwo ukończenia studiów podyplomowych - Akademia Ekonomiczna im. O. Langego we Wrocławiu, Wydział Gospodarki Narodowej w zakresie „Finansów i Bankowości”, z dnia 27 września 1993 roku,
- Dyplom ukończenia jednolitych studiów magisterskich. Uniwersytet Wrocławski, Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii w zakresie fizyki doświadczalnej, rok 1993, tytuł magister fizyki.

### C. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 2013 – do chwili obecnej - asystent naukowy w Katedrze Energoelektryki (dawniej Instytucie Energoelektryki) Politechniki Wrocławskiej,
- 1998 – 2012 - pracownik naukowo – techniczny w Instytucie Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej.

- D. Wskazanie osiągnięcia naukowego, uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiącego znaczny wkład w rozwój dyscypliny elektrotechnika zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016r. poz. 882 z późniejszymi zmianami Dz. U. 2016r. poz. 1311.)

1. **tytuł osiągnięcia naukowego:**

Podstawę wniosku habilitacyjnego stanowi osiągnięcie w postaci **zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia technologicznego** oraz **dodatkowo** za cykl publikacji powiązanych tematycznie, które zatytułowano:

**„Wpływ pola elektromagnetycznego na środowisko naturalne  
– zagadnienia wybrane”**

2. **wykaz prac naukowych (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, nazwa czasopisma, tom, strony,) dokumentujących osiągnięcie (osiągnięcia) naukowe, stanowiące podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego:**

[1] **Sztafrowski Dariusz, Wróblewski Zbigniew, Gumiela Jacek:**

Patent. Polska, nr 227913. „Układ do pomiaru rozkładu pola elektromagnetycznego”: Int.Cl. G01R 29/08. Zgłosz. pat. nr P 415385 z 18.12.2015. Opubl. 31.01.2018

Lokalizacja elektroniczna:

[http://pubserv.uprp.pl/PublicationServer/generuj\\_dokument.php?plik=PL\\_00000000227913\\_B\\_1\\_PDF](http://pubserv.uprp.pl/PublicationServer/generuj_dokument.php?plik=PL_00000000227913_B_1_PDF)

**Punktacja MNiSW: 30** – zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 12 grudnia 2016 r. w sprawie przyznawania kategorii naukowej jednostkom naukowym i uczelniom, w których zgodnie z ich statutami nie wyodrębniono podstawowych jednostek organizacyjnych (Dz. U. 2016 r. , poz. 2154).*

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu metody i koncepcji pomiaru zmiennych w czasie wielkości fizycznych, wykonaniu badań symulacyjnych, opracowaniu układu do pomiaru pola elektromagnetycznego, wyprowadzeniu zależności matematycznej wykorzystanej w zaproponowanej metodzie i wykonaniu badań eksperymentalnych mających na celu weryfikację poprawności zaproponowanych założeń, opracowaniu tekstu zgłoszenia patentowego w zakresie opisu układu oraz metody pomiaru i sformułowaniu głównych zastrzeżeń patentowych.

*Mój udział procentowy wynosi 75%.*

- [2] **Sztafrowski Dariusz, Wróblewski Zbigniew, Gumiela Jacek:** “Measuring analysis of the distribution of magnetic field free of errors resulting from fluctuation of currents”, *Przegląd Elektrotechniczny* R. 93 NR 3/2017 s. 228-231,

**Punktacja MNiSW z 2016: 14**

A

- [3] **Sztafrowski Dariusz, Gumiela Jacek:** “Analiza wpływu doboru parametrów symulacji metodą elementów skończonych na dokładność uzyskanych wyników”. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2019. R. 95, nr 1, s. 109-112

- Punktacja MNiSW z 2018: (Web of Science) 14. Lista Filadelfijska**
- [4] **Szafrowski Dariusz, Gumiela Jacek:** „Application of additional grounded wires in high voltage overhead power lines to reduce the intensity of electric field generated by phase wires”.  
Przegląd Elektrotechniczny R. 94 NR 3/2018 s. 159-161,  
**Punktacja MNiSW z 2018: 14. Lista Filadelfijska**
- [5] **Szafrowski Dariusz, Gumiela Jacek:** “Optymalizacja konstrukcji linii elektroenergetycznych WN ograniczająca wpływ generowanego pola elektromagnetycznego na środowisko.”  
*Przegląd Naukowo-Metodyczny Edukacja dla Bezpieczeństwa. 2018, R. 11, nr 1, s. 965-974,*  
**Punktacja MNiSW z 2013-2016: 09**
- [6] **Szafrowski Dariusz, Gumiela Jacek:** „Analiza technicznych możliwości ograniczania zjawiska ulotu elektrycznego zrealizowana na podstawie cyfrowej identyfikacji natężenia pola elektrycznego w otoczeniu przewodów roboczych elektroenergetycznych linii WN.”  
Przegląd Elektrotechniczny R. 94, nr 1/2018, s. 113-116,  
**Punktacja MNiSW z 2018: 14. Lista Filadelfijska**
- [7] **Szafrowski Dariusz, Aksamit-Stachurska Anna, Kostyń Kamil, Mackiewicz Paweł, Łukaszewicz Marcin;** „Electromagnetic field seems to not influence transcription via CTCT motif in three plant promoters.” *Frontiers in Plant Science* [Dokument elektroniczny]. 2017, vol. 8, art. 178, s. 1-14.  
Adres elektroniczny publikacji:  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00178/full>  
**Punktacja MNiSW z 2018: 40. Lista Filadelfijska. IF. 3.678**  
**Rodzaj pracy: artykuł; zasięg międzynarodowy**
- [8] **Szafrowski Dariusz, Kuliczkowski Kazimierz, Jaźwiec Bożena, Gumiela Jacek;**“ Badania wpływu biegunów „N” oraz „S” stałego pola magnetycznego na apoptozę komórek białaczki ludzkiej HL-60”, *Przegląd Elektrotechniczny R. 94 NR 12/2018 s. 182-185,*  
**Punktacja MNiSW z 2018: 14. Lista Filadelfijska**
- [9] **Szafrowski Dariusz, Kuliczkowski Kazimierz, Jaźwiec Bożena, Gumiela Jacek;** “Effect of static magnetic field and Busulfan on HL-60 cell apoptosis”  
*Przegląd Elektrotechniczny R. 94 NR 1/2018 s. 109-112,*  
**Punktacja MNiSW z 2018: 14. Lista Filadelfijska**
- [10] **Szafrowski Dariusz, Suchodolski Jakub, Muraszko Jakub, Sigler Karel, Krasowska Anna;** “The influence of N and S poles of static magnetic field (SMF) on *Candida albicans* hyphal formation and antifungal activity of amphotericin B”, *Folia Microbiologica. 2019, s. 1-8.*  
Adres elektroniczny publikacji: <https://doi.org/10.1007/s12223-019-00686-3>  
**Punktacja MNiSW z 2018: 15. Lista Filadelfijska, IF – 1,311**  
**Rodzaj pracy: artykuł; zasięg międzynarodowy**

Tab. 4.1. Zestawienie cyklu publikacji powiązanych tematycznie.

Numer publikacji	Nazwa czasopisma/konferencji	Lista Filadelfijska	Impact Factor	Punktacja wg ujednoliconego wykazu czasopism naukowych MNiSW	Wkład wnioskodawcy	Rok publikacji
1	Patent. Polska 227913	Nie dotyczy	Nie dotyczy	30	75%	2019
2	Przegląd Elektrotechniczny		-	14	70%	2017
3	Przegląd Elektrotechniczny	Tak	-	14	65%	2019
4	Przegląd Elektrotechniczny	Tak	-	14	70%	2018
5	Przegląd Naukowo-Metodyczny Edukacja dla Bezpieczeństwa		-	09	65%	2018
6	Przegląd Elektrotechniczny	Tak	-	14	65%	2018
7	Frontiers in Plant Science	Tak	3,678	40	40%	2017
8	Przegląd Elektrotechniczny	Tak		14	65%	2018
9	Przegląd Elektrotechniczny	Tak	-	14	65%	2018
10	Folia Microbiologica	Tak	1.311	15	40%	2019
<b>Wybrane osiągnięcia naukowo – badawcze habilitanta punkt E</b>						
11	Przegląd Elektrotechniczny		-	14	55%	2014
12	Advances in Clinical and Experimental Medicine	Tak	1,262	15	55%	2019

Wyniki oraz ich analizę z przeprowadzonych badań wykonanych po uzyskaniu stopnia doktora prezentowałem w czasopismach indeksowanych według JCR, wymienionych na liście ministerialnej, w rozdziałach książek oraz na konferencjach krajowych i międzynarodowych. W tabeli 4.1 zestawiono najważniejsze informacje dotyczące cyklu publikacji stanowiące podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

Sumaryczny Impact Factor (zgodny z datą publikacji) opracowań załączonych do cyklu publikacji zatytułowanych „Wpływ pola elektromagnetycznego na środowisko naturalne – zagadnienia wybrane” wynosi 6,251.

Zestawiono na podstawie opracowania Centrum Wiedzy i Informacji Naukowo – Technicznej politechniki Wrocławskiej z dnia 23 kwietnia 2019 roku.

### **3. Omówienie celu naukowego przedstawionych prac oraz omówienie ich potencjalnego wykorzystania, w tym omówienie oryginalnych osiągnięć o charakterze konstrukcyjnym, technologicznym lub projektowym**

#### **Wstęp**

Jednym z działów elektrotechniki jest Bezpieczeństwo Elektryczne, które obejmuje zagadnienia związane z bezpieczną eksploatacją energii elektrycznej. Od początku pojawienia się elektryczności ludzie zauważyli wiele zagrożeń związanych z jej wykorzystaniem. Liczne przeprowadzone w tym zakresie badania związane z przepływem prądu elektrycznego przez organizm człowieka dowiodły, że z jednej strony może on stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka, a z drugiej może być wykorzystywany jako czynnik związany z jego leczeniem, czego przykładem mogą być obecnie coraz częściej stosowane techniki (tDCS) - przeczaszkowa stymulacja prądem stałym, (tACS) przeczaszkowa stymulacja prądem zmiennym lub stymulacja o losowych parametrach szumu (tRNS). Innym wkładem elektrotechniki służącym ratowaniu życia człowieka jest coraz częściej dostępny w miejscach publicznych aparat elektryczny (AED) Automatyczny Elektryczny Defibrylator (en. Automated External Defibrillator) i stworzenie na terenie Polski PAD – Programu powszechnego dostępu do defibrylacji, który umożliwił przywrócenie do życia wielu osób.

Z drugiej strony badania związane z przepływem prądu przez organizm człowieka przyczyniły się do określenia bezpiecznych wartości natężenia prądu oraz ładunku, jaki może przepłynąć przez ciało człowieka. W oparciu o wyniki tych eksperymentów możliwe było na przykład określenie wartości prądu, przy jakim mają zadziałać wyłączniki różnicowo prądowe, które są obecnie nieodłącznym elementem każdej nowobudowanej instalacji elektrycznej mającej zastosowanie w gospodarstwach domowych. Spowodowało to, że eksploatacja urządzeń elektrycznych stała się znacznie bezpieczniejsza.

Elektrotechnika wniosła do medycyny również wiele technik diagnostycznych takich jak elektrokardiografia (EKG) czy elektroencefalografia (EEG) która ma nie tylko zastosowania w sprawdzeniu czynności bioelektrycznej mózgu, ale również może służyć do określania stanu znieczulenia pacjenta podczas prowadzenia zabiegów medycznych.

Inaczej sytuacja przedstawia się w przypadku pól elektromagnetycznych, których emisja związana jest nierozdzielnie z eksploatacją urządzeń elektrycznych oraz obiektów elektroenergetycznych. Wolnozmiennie pola elektromagnetyczne są zakwalifikowane przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem (IARC - INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER) jako przypuszczalny czynnik rakotwórczy. Składowa magnetyczna została zakwalifikowana do grupy 2B. W grupie tej istnieją ograniczone dowody epidemiologiczne oraz z badań na zwierzętach ujawniające jej potencjalny wpływ na powstawanie procesów nowotworowych, a w przypadku składowej elektrycznej, którą zaliczono do grupy 3 i uznano ją jako czynnik niemożliwy do udowodnienia jako rakotwórczy dla organizmu człowieka.

Z drugiej strony wolnozmiennie pola elektromagnetyczne znajdują liczne zastosowania w terapiach medycznych. Możemy tu wyróżnić dwie podstawowe grupy terapii. Pierwszą z nich jest magnetoterapia wykorzystująca przemienne pola magnetyczne niskiej częstotliwości o indukcji magnetycznej od 0,1 do 20 mT. Drugą z technik jest magneto stymulacja. Jest to również terapia polami magnetycznymi lecz o niskich wartościach indukcji magnetycznej. Mechanizm działania pola magnetycznego na ustrój jest wysoce złożony i do tej pory jeszcze w wielu szczegółach nie wyjaśniony. Między innymi z tych powodów liczne konferencje poświęcone zagadnieniom z zakresu elektrotechniki organizowane przez takie towarzystwa naukowe, jak Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu (PTZE) czy Polskie Towarzystwo Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej (PTETiS) mają w swoim programie

zagadnienia poświęcone wpływowi pola elektromagnetycznego na środowisko naturalne oraz z zastosowaniu tego pola w medycynie.

Również z podobnych przyczyn powołany został przy Stowarzyszeniu Elektryków Polskich (SEP) Komitet Zastosowań Pola Elektromagnetycznego w Medycynie, którego celem jest wspieranie działań na rzecz rozwoju badań w dziedzinie pól elektromagnetycznych, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań medycznych.

Problematyka zastosowania pól elektromagnetycznych w biologii oraz medycynie jest obecnie już tak zawansowana i ważna, że po wprowadzeniu Konstytucji dla Nauki w 2018 roku zagadnienia jakie publikuje najstarsze i najbardziej uznane polskie wydawnictwo z zakresu elektrotechniki Przegląd Elektrotechniczny obejmuje dyscypliny związane z elektrotechniką, automatyką, elektroniką jak również z technologiami biomedycznymi. Nastąpił tym samym moment, w którym doszło do przenikania pomiędzy dyscyplinami, i tylko współpraca między naukowcami z wymienionych dyscyplin może przyczynić się do dalszego jakże ważnego rozszerzenia wiedzy w tym zakresie nauki.

Dlatego habilitant nawiązał współpracę i aktywnie prowadzi działalność naukową z następującymi ośrodkami naukowymi:

1. Katedrą i Kliniką Hematologii, Nowotworów Krwi i Transplantacji Szpiku - Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu,
2. Katedrą Medycyny Ratunkowej, Zakład Medycyny Ratunkowej i Katastrof - Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu,
3. Katedrą i Kliniką Okulistyki - Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu,
4. Instytutem Genetyki i Mikrobiologii, Wydział Nauk Przyrodniczych - Uniwersytet Wrocławski,
5. Polskim Towarzystwem Medycyny Ratunkowej.

Habilitant utworzył i kieruje Laboratorium Badań Zagrożeń Elektromagnetycznych i Bioelektromagnetyzmu oraz współtworzył partnerską Pracownię Naukowo-Badawczą Wpływu Pól Magnetycznych zlokalizowaną na Uniwersytecie Medycznym we Wrocławiu przy Zakładzie Traumatologii i Medycyny Ratunkowej Wieku Rozwojowego.

Habilitant był również głównym wykonawcą oraz osobą odpowiedzialną za współpracę naukową z ramienia Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej z trzema wyżej wymienionymi ośrodkami badawczymi w realizacji interdyscyplinarnej pracy naukowej zleconej przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne pt.: „Ocena wpływu pola magnetycznego 50 Hz wytwarzanego przez obiekty elektroenergetyczne na środowisko naturalne i organizm ludzki”. Praca ta składała się z ośmiu części i trwała cztery lata. Praca została zrealizowana i miała na celu poszerzenie wiedzy z zakresu oddziaływania pól elektromagnetycznych na środowisko naturalne a w szczególności na organizm człowieka. Są to bardzo ważne zagadnienia, których szczegółowe rozpoznanie przyczynia się do sprawnego i bezpiecznego rozwoju Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE), a w szczególności do sprawnej budowy liniowej infrastruktury sieciowej – linii elektroenergetycznych najwyższych napięć.

Habilitant, jako Kierownik Techniczny akredytowanego Laboratorium Pomiarów Pól Elektromagnetycznych posiadającego Certyfikat Akredytacji Laboratorium Badawczego nr AB 1568 realizując prace związane z pomiarami pól elektromagnetycznych przeanalizował i rozwiązał problem pomiaru pól elektromagnetycznych pochodzących od obiektów elektroenergetycznych, a w szczególności od linii przesyłowych wysokiego napięcia. Problem ten związany jest z występującymi podczas pomiaru wahaniami parametrów energii elektrycznej, między innymi takim jak zmiany wartości prądów i napięć, które mają bezpośredni wpływ na dokładność wykonywanych prac.

Opracowana technologia pozwoliła na wyeliminowanie tego typu problemów. **Rozwiązanie tego problemu naukowego znalazło również swoje potwierdzenie w przyznanych dwóch patentach: nr P227913 pt.: „Układ do pomiaru rozkładu pola magnetycznego” oraz P231702 „Sposób pomiaru rozkładu zmiennych w czasie wielkości fizycznych” oraz w publikacji naukowej „Measuring analysis of the distribution of magnetic field free of errors resulting from fluctuation of currents”, Przegląd Elektrotechniczny R. 93 NR 3/2017 s. 228-231.**

Wrocławskie Centrum Transferu Technologii wytypowało wyżej wymieniony **patent nr P227913** do komercjalizacji. Została opracowana oferta technologiczna którą opublikowano między innymi w Kwartalniku Urzędu Patentowego RP.

W oparciu o przeprowadzone przez habilitanta prace badawcze oraz przedstawione oryginalne rozwiązanie technologiczne do najważniejszych jego osiągnięć można zaliczyć:

1. Opracowanie technologii do produkcji mierników służących do pomiaru pola elektromagnetycznego w otoczeniu obiektów elektroenergetycznych w rzeczywistych warunkach terenowych przy wykorzystaniu metody wolnej od błędów wnoszonych przez wahania prądów i napięć,
2. W zakresie badań dotyczących analizy rozkładu pola elektromagnetycznego:
  - a. Zbadanie wpływu doboru parametrów symulacji metodą elementów skończonych na dokładność uzyskanych wyników rozkładów natężenia pola elektrycznego,
  - b. Zbadanie i określenie sposobu kształtowania rozkładu pola elektrycznego pochodzącego od napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia oraz ograniczania natężenia pola w środowisku poprzez zastosowanie dedykowanych środków technicznych umożliwiające racjonalne gospodarowanie gruntami zlokalizowanymi w pobliżu napowietrznych linii elektroenergetycznych,
  - c. Zbadanie metodą symulacji cyfrowych rozkładu składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego w pobliżu torów prądowych oraz określenie możliwości technicznych ograniczenia zjawiska ulotu elektrycznego.
3. Zbadanie wpływu wolnozmiennego pola magnetycznego na transkrypcję genów za pomocą motywu CTCT w trzech promotorach roślinnych,
4. Zbadanie wpływ biegunów magnetycznych N i S stałego pola magnetycznego na przeżywalność komórek białaczki ludzkiej,
5. Zbadanie synergicznego wpływ stałego pola magnetycznego i cytostatyków na apoptozę komórek białaczki ludzkiej,
6. Zbadanie synergicznego wpływu biegunów N i S statycznego pola magnetycznego oraz antybiotyku na aktywność przeciwrzybiczną drożdżaków Candida.

Przedstawione oryginalne rozwiązanie technologiczne oraz zaprezentowany cykl publikacji pod wspólnym tytułem: „*Wpływ pola elektromagnetycznego na środowisko naturalne – zagadnienia wybrane*” przedstawia naukowy wkład habilitanta do rozwoju dyscypliny elektrotechnika oraz jej oddziaływania na inne dyscypliny nauki.

Wszystkie przedstawione badania oraz rozwiązania techniczne zawarte w jednolitym, powiązanim tematycznie cyklu publikacji oraz przedstawione oryginalne rozwiązanie technologiczne habilitant zrealizował po obronie pracy doktorskiej.



**SPIS TREŚCI OMAWIANYCH OSIĄGNIĘĆ:**

1. Opracowanie technologii do produkcji mierników służących do pomiaru pola elektromagnetycznego w otoczeniu obiektów elektroenergetycznych w rzeczywistych warunkach terenowych przy wykorzystaniu metody wolnej od błędów wnoszonych przez wahania prądów i napięć **strona 10**
  2. W zakresie badań dotyczących analizy rozkładu pola elektromagnetycznego:
    - a) Zbadanie wpływu doboru parametrów symulacji metodą elementów skończonych na dokładność uzyskanych wyników rozkładów natężenia pola elektrycznego, **strona 21**
    - b) Zbadanie i określenie sposobu kształtowania rozkładu pola elektrycznego pochodzącego od napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia oraz ograniczania natężenia pola w środowisku poprzez zastosowanie dedykowanych środków technicznych umożliwiające racjonalne gospodarowanie gruntami zlokalizowanymi w pobliżu napowietrznych linii elektroenergetycznych, **strona 26**
    - c) Zbadanie metodą symulacji cyfrowych rozkładu składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego w pobliżu torów prądowych oraz określenie możliwości technicznych ograniczenia zjawiska ulotu elektrycznego **strona 31**
  3. Zbadanie wpływu wolnozmiennego pola magnetycznego na transkrypcję genów za pomocą motywu CTCT w trzech promotorach roślinnych, **strona 36**
  4. Zbadanie wpływ biegunów magnetycznych N i S stałego pola magnetycznego na przeżywalność komórek białaczki ludzkiej **strona 39**
  5. Zbadanie synergicznego wpływ stałego pola magnetycznego i cytostatyków na apoptozę komórek białaczki ludzkiej **strona 41**
  6. Zbadanie synergicznego wpływu biegunów N i S statycznego pola magnetycznego oraz antybiotyku na aktywność przeciwgrzybiczną drożdżaków Candida **strona 43**
- E.** Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych wnioskodawcy, świadczących o istotnej aktywności naukowej habilitanta **strona45**
- E.1.** Zbadanie wpływu pola magnetycznego 50 Hz na hemodynamikę układu krążenia człowieka **strona47**
  - E.2.** Pomiarowa identyfikacja emisji pola elektromagnetycznego w samochodach elektrycznych **strona 50**
  - E.3.** Zbadanie synergicznego wpływu przemiennego pola magnetycznego, cytostatyków oraz podwyższonej o 2,5<sup>0</sup> C temperatury na apoptozę komórek białaczki ludzkiej HL-60 **strona 50**

## OMÓWIENIE OSIĄGNIĘCIA 1

### **Opracowanie technologii do produkcji przyrządów pomiarowych służących do pomiaru pola elektromagnetycznego w otoczeniu obiektów elektroenergetycznych w rzeczywistych warunkach terenowych przy wykorzystaniu metody wolnej od błędów wnoszonych przez wahania prądów i napięć**

Przedmiotem opracowanego przez habilitanta rozwiązania jest technologia pozwalająca na budowę nowego typu przyrządu pomiarowego. Miernik ten oparty jest o opatentowany sposób oraz układ do pomiaru rozkładu pola elektromagnetycznego w otoczeniu obiektów wytwarzających takie pole, **Patent. Polska 227913 publikacja nr [1]**. Układ do pomiaru rozkładu pola elektromagnetycznego charakteryzuje się tym, że wyposażony jest w sondę pomiarową o stałym położeniu i sondę pomiarową o zmiennym położeniu, z których sonda pomiarowa o stałym położeniu połączona jest w szereg z koderem, z medium transmisyjnym, z dekoderm i rejestrem, wyposażonym w przycisk START, a z kolei rejestr jest połączony z wejściem układu modułu dzielącego, do którego to wejścia podłączone jest bezpośrednio wyjście z dekodera, natomiast wyjście z modułu dzielącego połączony jest z wejściem modułu mnożącego, do którego to wejścia podłączona jest sonda o zmiennym położeniu za pośrednictwem medium transmisyjnego, a wyjście z modułu mnożącego połączony jest z modułem odczytowym (Fig. 1). Dekoder, rejestr, moduł dzielący, moduł mnożący, moduł odczytowy umieszczone są w obudowie ekranującej, do której wejścia z sondy pomiarowej o stałym położeniu i sondy pomiarowej o zmiennym położeniu, za pośrednictwem mediów transmisyjnych, wprowadzane są odpowiednio połączenia do sond przez przepusty. Media transmisyjne łączące sondę o stałym położeniu i sondę o zmiennym położeniu odpowiednio z pozostałymi elementami układu stanowią połączenie galwaniczne lub bezprzewodowe. Wyjście z modułu mnożącego połączony jest z modułem rejestrującym wyniki lub przesyłającym wskazania przyrządu do centrum przetwarzania informacji.

**Zaletą układu jest to, że wynik pomiaru jest wolny od błędu wnoszonego przez wahania napięć, prądów i/lub odchyłkę symetrii faz układu wielofazowego. Zaletą jest również łatwość technicznej realizacji procesu pomiarowego, w którym w sposób istotny i prosty redukuje się wartość błędu pomiaru.** Schemat miernika w przykładzie realizacji został uwidoczniiony rysunku 1 na którym Fig. 1 przedstawia schemat blokowy układu do pomiaru pola elektromagnetycznego, w którym sonda o stałym położeniu i sonda o zmiennym położeniu połączone są odpowiednio za pośrednictwem połączenia galwanicznego, a Fig. 2 przedstawia schemat blokowy układu do pomiaru pola elektromagnetycznego, w którym obie sondy połączone są odpowiednio w sposób bezprzewodowy.

Układ ten umożliwia realizację budowy przyrządu pomiarowego w dwóch następujących wariantach:

#### **Wariant 1 – rysunek 1 (Fig. 1)**

Miernik do pomiaru natężenia pola elektromagnetycznego wyposażony jest w co najmniej dwie sondy pomiarowe, sondę pomiarową o stałym położeniu A i sondę pomiarową o zmiennym położeniu B. Obie sondy pomiarowe połączone są odpowiednio z pozostałymi elementami układu, które umieszczone są w obudowie ekranującej (O) za pomocą medium

transmisyjnego LA, LB w postaci połączenia galwanicznego, a wprowadzone przez przepusty (WA) i (WB) obudowy ekranującej (O).

Sonda pomiarowa o stałym położeniu A połączona jest w szereg z koderem 1A, wspomnianym medium transmisyjnym LA, z dekoderelem 2A i z rejestrem 3, wyposażonym w przycisk START. Wyjście z rejestru 3 połączone jest z wejściem modułu dzielącego 4. Do wejścia modułu dzielącego 4 podłączone jest równoległe wyjście z dekodera 2A. Natomiast wyjście z modułu dzielącego 4 połączone jest z wejściem modułu mnożącego 5, do którego to wejścia poprzez układ kodera 1B, medium transmisyjnego LB i dekodera 2B podłączona jest sonda pomiarowa o zmiennym położeniu B. Wyjście modułu mnożącego 5 połączone jest z modułem odczytowym 6, który jest wyskalowany w jednostkach natężenia pola elektrycznego [kV/m] dla składowej elektrycznej pola lub w jednostkach natężenia pola magnetycznego [A/m] i/lub indukcji pola magnetycznego [T] dla składowej magnetycznej pola.

W zależności od preferowanego podczas badania pomiaru składowej elektrycznej lub magnetycznej natężenia pola elektromagnetycznego stosujemy sondy pomiarowe A, B stanowiące czujniki natężenia pola elektrycznego do pomiaru składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego, wyrażonej w [kV/m] lub stosuje się czujniki natężenia pola magnetycznego do pomiaru składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego, wyrażonej w [A/m].

### **Wariant 2 rysunek 1 (Fig. 2)**

Miernik zbudowany jak w przykładzie pierwszym, z tą różnicą, że sonda pomiarowa o stałym położeniu (A) i sonda pomiarowa o zmiennym położeniu (B) połączone są odpowiednio z pozostałymi elementami układu medium transmisyjnym LA, LB które stanowi połączenie bezprzewodowe przykładowo radiowe lub optyczne.

Przy wykorzystaniu łącza bezprzewodowego do komunikacji pomiędzy przyrządem pomiarowym a jego sondami pomiarowymi usprawnia się obsługę oraz skraca się czas niezbędny do wykonania pomiarów poprzez brak konieczności rozkładania galwanicznej linii łączącej.

Miernik opisany w przykładach umożliwia przesyłanie informacji na odległość do zewnętrznego urządzenia pomiarowego/rejestrującego wówczas zamiast modułu odczytowego (6) można zastosować moduł pozwalający na rejestrowanie wyników lub przesyłanie wskazania przyrządu do odległego centrum przetwarzania informacji, po wyposażeniu go w odpowiedni układ dopasowujący, interfejs. **Pozwoli to na automatyzację procesu pomiarowego, co ograniczy narażania obsługi dokonującej pomiarów na oddziaływanie pól elektromagnetycznych.**

Miernik do pomiaru rozkładu pola elektromagnetycznego działa następująco: Sygnał z sondy pomiarowej o stałym położeniu A przesyłany jest do kodera 1A, w którym następuje przygotowanie sygnału do standardu przyjętego w wybranym medium transmisyjnym, potem trafia do medium transmisyjnego LA, z którego z kolei trafia na wejście dekodera 2A, aby dostosować go do standardu wymaganego przez pozostałą część układu.

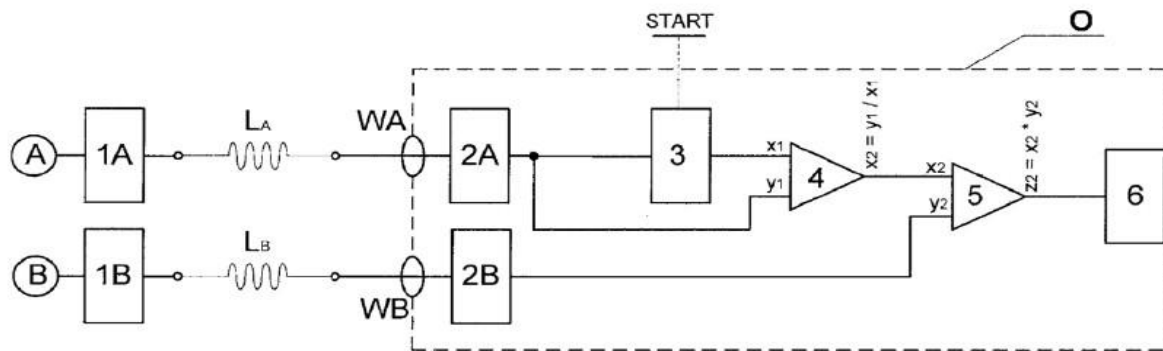


Fig.1

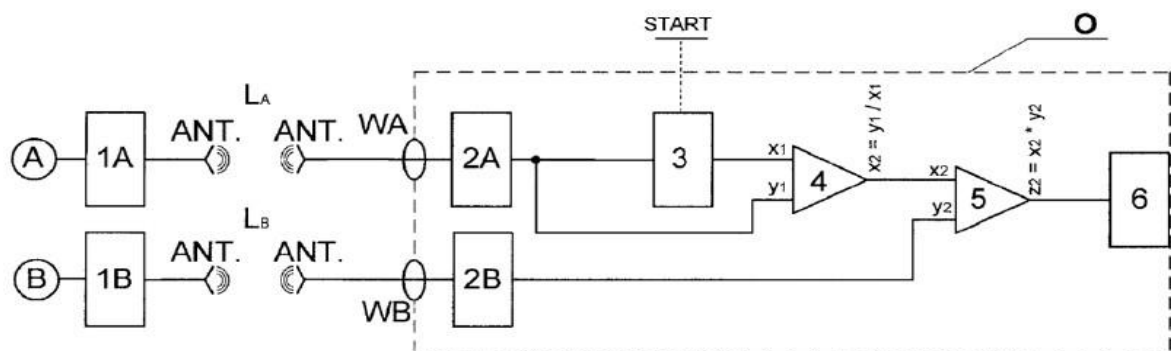


Fig.2

Rys. 1. Możliwe warianty przyrządu pomiarowego,

Fig. 1 przedstawia schemat blokowy układu do pomiaru pola elektromagnetycznego, w którym sonda o stałym położeniu i sonda o zmiennym położeniu połączone są odpowiednio za pośrednictwem połączenia galwanicznego,

Fig. 2 przedstawia schemat blokowy układu do pomiaru pola elektromagnetycznego w którym sonda o stałym położeniu połączona jest odpowiednio w sposób bezprzewodowy

Rozpoczęcie procesu pomiaru następuje po naciśnięciu przycisku START, wtedy to w rejestrze 3 zostaje zapamiętana wartość odniesienia natężenia pola elektromagnetycznego, lub poszczególnych jego składowych, zmierzona sondą pomiarową o stałym położeniu A, zmierzona w chwili rozpoczęcia pomiarów, która jest w nim przechowywana przez cały czas trwania procedury pomiarowej związanej z badanym obiektem, a której sygnał X1 trafia na jedno z wejść modułu dzielącego 4, jako dzielnik. Na drugie z wejść modułu dzielącego 4, jako dzielna podana jest bieżąca wartość chwilowa sygnału Y1 odpowiadająca natężeniu pola elektromagnetycznego zmierzonego przy pomocy sondy pomiarowej o stałym położeniu A w czasie równym z chwilą pomiaru dokonywanego sondą pomiarową o zmiennym położeniu B.

Na podstawie ilorazu tych wartości wejściowych sygnałów  $X_1$ ,  $Y_1$  otrzymuje się wartość odpowiadającą współczynnikowi korekcyjnemu  $X_2$ , która następnie trafia na jedno z wejść modułu mnożącego 5. Do drugiego wejścia modułu mnożącego 5 doprowadzona jest bezpośrednio bieżąca wartość chwilowa  $Y_2$  pochodząca z sondy pomiarowej o zmiennym położeniu B za pośrednictwem kodera 1B, medium transmisyjnego LB oraz dekodera 2B. Po wykonaniu iloczynu w module mnożącym 5 tych wartości wejściowych sygnałów  $X_2$ ,  $Y_2$  otrzymuje się poszukiwaną wartość natężenia pola elektromagnetycznego  $Z_2$  skorygowaną już o współczynnik korygujący  $X_2$ .

**Za pomocą tak skonstruowanego przyrządu pomiarowego można skorygować w każdym badanym punkcie mierzone wartości w przestrzeni wokół badanego urządzenia emitującego pole elektromagnetyczne o wartość wynikającą z ewentualnych zmian napięć, prądów i/lub odchyłkę symetrii układu wielofazowego.**

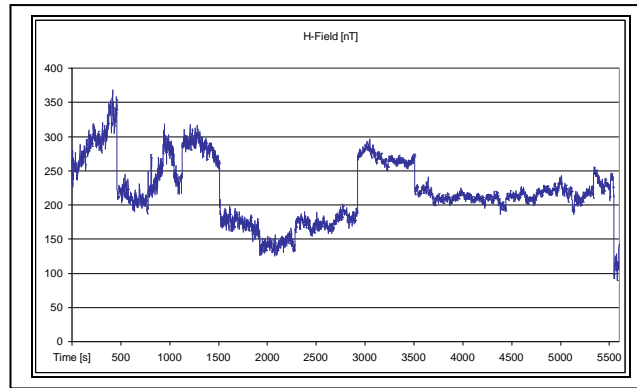
**Wykorzystanie miernika w procesie walidacji rozkładu pola elektromagnetycznego metodami pomiarowymi pozwala zminimalizować błędy popełnione przy użyciu metod obliczeniowych zastosowanych do oszacowania rozkładu pola elektromagnetycznego.**

Weryfikację praktyczną opisaną powyżej metody sposobu redukcji błędów wyznaczania rozkładu zmiennego w czasie pola elektromagnetycznego wokół obiektów elektroenergetycznych zrealizowałem dokładnie i opisałem w publikacji [3].

**Pomiar rozkładu natężenia pola elektromagnetycznego prowadzony tradycyjnymi metodami obarczony jest licznymi błędami. Jednym z nich może być błąd wprowadzany przez losowo zmieniające się w czasie pomiarów wartości natężenia płynącego linią prądu i/lub zmieniającymi się w tym czasie wartościami potencjału w linii elektroenergetycznej, co w konsekwencji prowadzi odpowiednio do zmian poszczególnych wartości składowych pola magnetycznego i/lub elektrycznego wokół rozpatrywanej linii. Z tych względów podczas pomiarów, odbywających się w pewnym skończonym czasie, mierzone wartości natężeń pól mogą się zmieniać nawet o kilkadziesiąt procent. Należy przy tym podkreślić, że wyznaczony w oparciu o opracowaną przez habilitanta i opisaną poniżej metodę rozkład pola jest skorygowany o błędy wynikające z losowej zmienności omawianych powyżej czynników.**

Na rysunku 2 przedstawione są wyznaczone pomiarowo zmiany wartości indukcji magnetycznej generowanej przez linię 110 kV prowadzoną we Wrocławiu na słupach o konstrukcji B2 o długości pręseł 300 metrów. Pomiar pod linią elektroenergetyczną wykonane zostały przyrządem pomiarowym Maschek ESM-100. Przyrząd ten umożliwił pomiary indukcji magnetycznej  $B$  [nT], które następnie zostały przeliczone na wartości natężenia pola magnetycznego  $H$  [A/m]. Odległość przewodu od ziemi w punkcie pomiaru wynosiła 12 metrów. Pomiar pola magnetycznego wykonywany był w czasie około 2 godzin w interwałach czasowych wynoszących 1 sekundę. W tym czasie zmiany natężenia pola magnetycznego zawierały się w przedziale od minimalnej wartości wynoszącej 86 nT do wartości maksymalnej, której wartość pola wyniosła 368 nT. Tak duże zmiany natężenia pola podczas pomiarów mogą być przyczyną dużych błędów w wyznaczanym w dotychczasowy sposób rozkładzie przestrzennym tego pola.

Istota sposobu redukcji tego rodzaju błędów pomiarowych polega na stałej identyfikacji zmienności pola magnetycznego podczas pomiarów i wykorzystaniu zarejestrowanych zmian wartości tego pola przy wyznaczaniu wartości poprawek dla poszczególnych punktów pomiarowych.



Rys.2. Przebieg zmian zmierzonej wartości natężenia pola magnetycznego pod linią 110 kV prowadzoną na słupach B2 na terenie miasta Wrocławia

Według proponowanej przez habilitanta metody, pomiary natężenia pola magnetycznego wykonuje się co najmniej dwoma przyrządami, z których jeden (przyrząd Nr 1) umieszcza się pod badaną linią elektroenergetyczną w miejscu największego zbliżenia jej przewodów fazowych do ziemi (lokalizacja najbardziej korzystna). Jego położenie powinno pozostawać niezmiennym w trakcie przeprowadzania całej serii pomiarów dotyczących danej linii. Zadaniem tego przyrządu jest stała rejestracja natężenia pola ( $H_{1x}$ ) oraz jego losowej zmienności w czasie pomiarów. Drugim przyrządem pomiarowym (przyrząd Nr 2 o zmienianym położeniu) dokonujemy pomiaru rozkładu natężenia pola magnetycznego ( $H_{2x}$ ) w różnych punktach pod linią. W oparciu o zmieniające się w czasie pomiary  $H_{1x}$  pochodzące z przyrządu Nr 1, wyliczane są poprawki ( $H_{1x}/H_0$ ), indywidualnie dla każdego pomiaru  $H_{2x}$  dokonywanego przyrządem pomiarowym Nr 2, a następnie wyznaczone są z wykorzystaniem tych poprawek skorygowane wartości pola magnetycznego  $H_s$  w poszczególnych punktach pomiaru:

$$(1) \quad H_s = H_{2x} \cdot \frac{H_{1x}}{H_0}$$

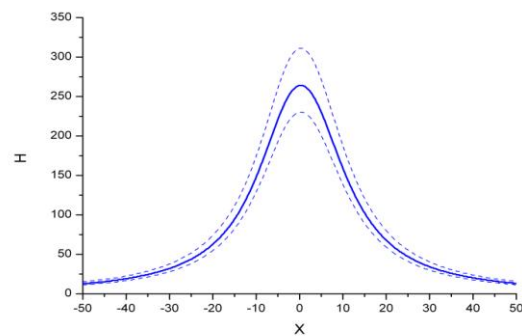
gdzie:

$H_s$  - skorygowana wartość wolna od ewentualnych losowych zmian mierzonych wielkości wartości prądu oraz ewentualnej fluktuacji różnicy potencjałów,

$H_0$  - wartość natężenia pola magnetycznego w chwili rozpoczęcia pomiarów  $t = 0$ .

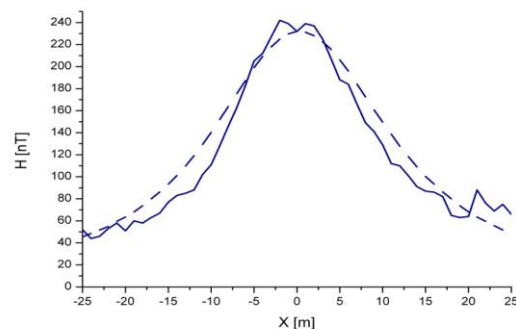
Tak wyznaczone wartości pola magnetycznego są pozbawione błędów wynikających ze zmian wartości natężenia prądu w badanej linii podczas dokonywania pomiarów.

Pomiary dokonywane bez powyższej poprawki mogą być obarczone błędami, które dla rozpatrywanego przypadku o przebiegu wartości pola z rysunku 2, wyznaczonego przy zmianach natężenia prądu w linii podczas pomiarów są przedstawione na rysunku 3. Na rysunku tym linia ciągła przedstawia rozkład pola magnetycznego wyznaczony zgodnie z dotychczasowymi metodami przy przyjęciu niezmiennej wartości prądu w linii. Linie przerywane wyznaczają zakres możliwych zmian tego przebiegu spowodowanych zmianami natężenia prądu podczas pomiarów. Linie te zostały wyznaczone przez podzielenie wartości maksymalnej (linia górna) oraz minimalnej (linia dolna) przez wartość początkową pola  $H_0$ .



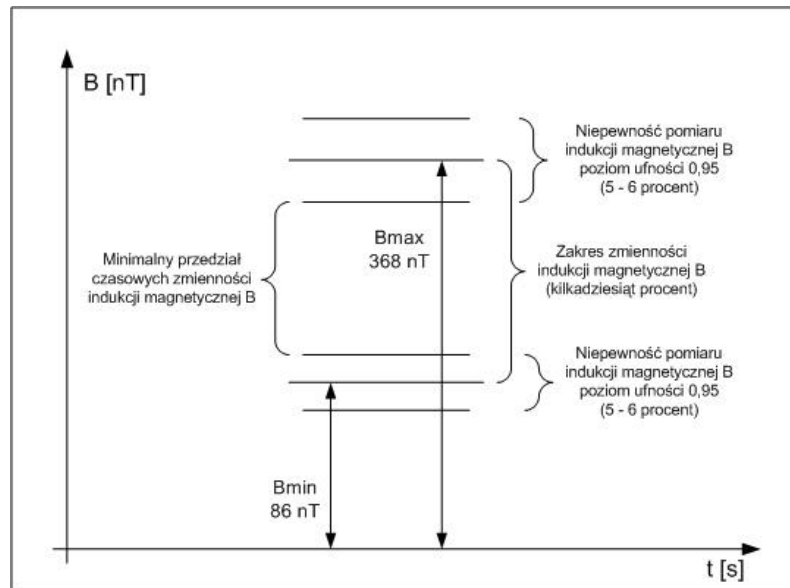
Rys.3. Rozkłady pola magnetycznego pod linią z rys. 2 odpowiadające niezmiennej wartości prądu podczas pomiarów (linia ciągła) oraz jego wartościom ekstremalnym (linie przerywane)

Na rysunku 4 przedstawiono przebiegi rozkładu pola magnetycznego pod opisaną linią wyznaczone pomiarowo (linia ciągła) oraz z zastosowaniem metody numerycznej (linia przerywana) przy przyjęciu niezmiennej wartości prądu podczas pomiarów.



Rys.4. Rozkład pola magnetycznego uzyskany metodą pomiarową (linia ciągła) oraz obliczeniową (linia przerywana)

Na rysunku 5 przedstawiono w formie graficznej przedziały błędów wnoszonych przez klasy obu przyrządów pomiarowych wchodzących w skład układu pomiarowego oraz zakres losowych zmian indukcji magnetycznej w czasie przeprowadzonych pomiarów. W opisanym przykładzie zmiany indukcji magnetycznej zarejestrowane przyrządem pomiarowym o stałym położeniu (przyrząd Nr 1) zawierały się w przedziale od 86 nT do 368 nT, przy czym wartość początkowa  $H_0$  wynosiła 232 nT, co w ujęciu procentowym daje błąd pomiaru powodowany tą zmiennością na poziomie od -62,9% do +58,5% w odniesieniu do wartości początkowej  $H_0$ .



Rys.5. Graficzna prezentacja zakresu zmienności indukcji magnetycznej oraz niepewności pomiaru dla poziomu ufności 0,95

Niepewność pomiaru wg PN-EN ISO/IEC 17025 jest określona zależnością:

$$(2) \quad u_B(\bar{B}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta_g B \cdot \bar{B}}{100}\right)^2 + \left(\frac{\Delta n}{n} \bar{B}\right)^2}$$

gdzie:

- $\delta_g B$  – błąd wskazań przyrządu pomiarowego wyrażony w procentach;
- $B$  – wartość mierzona indukcji magnetycznej;
- $\Delta n$  – błąd wskazań przyrządu pomiarowego wyrażony w cyfrach najmniej znaczących;
- $n$  – wartość mierzona (z pominięciem przecinka dziesiętnego).

Po wyliczeniu niepewności pomiaru według zależności (2) należy ją odnieść do wymaganego poziomu ufności ( $tu: 0,95$ ) dla którego współczynnik  $k=2$

$$(3) \quad U_B(\bar{B}) = k \cdot u_B(\bar{B})$$

Niepewność pomiaru dla poziomu ufności 0,95 (przy  $k=2$ ) wynikająca z klasy zastosowanych przyrządów pomiarowych Maschek ESM-100 będąca na poziomie  $\pm 5 - 6\%$  jest zatem niewielka w porównaniu do wartości poprawek pomiarowych (rzędu kilkudziesięciu procent) o jakie dzięki zastosowaniu opisanego sposobu redukcji błędów korygujemy zmierzone wartości indukcji magnetycznej.



**Podsumowanie osiągnięcia nr 1:**

- Zaproponowana przez habilitanta nowa technologia oparta jest na opracowanej przez niego metodzie pomiaru rozkładu pola magnetycznego wokół obiektów elektroenergetycznych i umożliwia wyznaczenie rozkładu tego pola wolnego od błędów wnoszonych przez zmiany natężenia prądu w linii podczas wykonywania pomiarów. Metoda ta pozwala także na eliminację błędów powodowanych przy wyznaczaniu pól magnetycznych i elektrycznych przez wahania napięć oraz asymetrię faz układu wielofazowego,
- Zaprezentowana przez habilitanta nowa technologia daje również możliwość przyspieszenia procesu pomiarowego poprzez jednoczesne wykonywanie pomiarów na kilku różnych poziomach (wysokościach) poprzez zwielokrotnienie liczby sond w zależności od potrzeb. Dla każdej z badanych płaszczyzn należy użyć jednej sondy o stałym położeniu oraz co najmniej jednej sondy o zmiennym położeniu,
- Do zalet tej metody możemy zaliczyć również to, że w przypadkach znacznych zmian natężeń prądów w linii podczas pomiarów i odpowiadających im dużych zmian natężenia pola błędy powodowane zastosowaniem niskiej klasy przyrządów pomiarowych są praktycznie pomijalne,
- Zgodnie z opinią Wrocławskiego Centrum Transferu Technologii zaproponowana przez habilitanta nowa technologia wykazuje wysoki stopień innowacyjności oraz wpisuje się w obecne trendy rynkowe z zakresu elektroenergetyki.

**Literatura**

- [1] **Szafrowski Dariusz, Wróblewski, Jacek Gumiela**; Patent Polska, nr P227913 „Układ do pomiaru rozkładu pola elektromagnetycznego”: Int.Cl. G01R 29/08. Zgłosz. pat. nr P 415385 z 18.12.2015. Opubl. 31.01.2018Punktacja MNiSW: 30 – zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 12 grudnia 2016 r. w sprawie przyznawania kategorii naukowej jednostkom naukowym i uczelniom, w których zgodnie z ich statutami nie wyodrębniono podstawowych jednostek organizacyjnych (Dz. U. 2016 r. , poz. 2154).  
**Rodzaj pracy: patenty; zasięg: lokalny**  
*Mój udział procentowy 75%.*
- [2] **Szafrowski Dariusz, Wróblewski Zbigniew, Gumiela Jacek**: Measuring analysis of the distribution of magnetic field free of errors resulting from fluctuation of currents”, Przegląd Elektrotechniczny R. 93 NR 3/2017 s. 228-231,  
**Punktacja MNiSW z 2016: 14**  
Adres elektroniczny publikacji: <http://pe.org.pl/articles/2017/3/51.pdf>  
**Rodzaj pracy: artykuł; zasięg międzynarodowy**



Wroclaw, dnia: 27.03.2019

**Zaświadczenie o współpracy Pana dr. Dariusza Szafrowskiego  
z Wroclawskim Centrum Transferu Technologii PWr (WCTT)  
w zakresie komercjalizacji wyników badań naukowych**

Technologia Politechniki Wroclawskiej pn.: „Układ do modyfikacji lub konstrukcji miernika uwzględniającego zmienność emisji źródła”, opracowana przez Pana dr. Dariusza Szafrowskiego, jest chroniona patentem PL.227913 pn.: „Układ do pomiaru rozkładu pola elektromagnetycznego”. Technologia dotyczy układu do pomiaru rozkładu natężenia pola elektromagnetycznego (PEM) lub innych wielkości fizycznych. Może być ona również wykorzystana do produkcji miernika, który uwzględnia zmienność emisji źródła. Technologia pozwala na otrzymanie wyniku pomiarowego wolnego od błędów, wynikających np. z fluktuacji napięć, prądów lub odchyłki faz układu wielofazowego. W świetle wymagań prawnych, a także potencjalnie negatywnego wpływu pola elektromagnetycznego na organizmy żywe, fakt ten wydaje się niezwykle istotny, w szczególności podczas wykonywania pomiarów środowiskowych i ekspozycji zawodowej (BHP) oraz poprawnej i dokładnej analizy wyników.

Zgodnie z opinią WCTT, opisana powyżej technologia wykazuje wysoki stopień innowacyjności oraz wpisuje się w obecne trendy rynkowe z zakresu elektroenergetyki. W celu wdrożenia technologii do środowiska gospodarczego WCTT:

- wykonało ocenę potencjału komercyjnego w ramach analizy *due diligence*, zawierającej między innymi: analizę możliwych zastosowań technologii, analizę rynku oraz wskazanie potencjalnych nabywców technologii,
- opracowało ofertę technologiczną w języku polskim i angielskim, która zamieszczona została na stronie internetowej komercjalizacja.pwr.edu.pl,
- aktywnie promuje technologię poprzez kontakt z jej potencjalnymi nabywcami. Do dnia dzisiejszego zainicjowano rozmowy z dwudziestoma przedsiębiorstwami.

Politechnika Wroclawska  
Dyrektor Wroclawskiego Centrum  
Transferu Technologii

Dr Jacek Firlej

Dyrektor WCTT, dr Jacek Firlej

# TECHNOLOGICAL OFFER OF WROCLAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

NO: 42600



## System for the construction of a meter with capability to analyze the emission source variability.

Technological offer describes system for measuring distribution of electromagnetic field (EMF) or other physical values variable in time with possibility to design a meter with capability to capture the emission source variability. The system allows to reduction of an error brought by fluctuations of voltage, current and/or deviation of the multiphase system. Basing on research results error can reach 30% up to 80% what can influence final evaluation. Thanks to the system described in the following offer there is a possibility to modify already existing meters by adding at least two probes as well as to use the system to perform accurate measurements of multiple physical values such as noise with no additional cost, comparing to traditional measuring methods. Potential negative EMF impact on the living organisms highlights the importance of measurements accuracy. The invention is filed under patent.

### TECHNICAL DETAILS

The system for measuring distribution of electromagnetic field (EMF) allows to eliminate errors in determining the magnetic and electric fields resulting from voltage fluctuation and phase unbalance of a three-phase electroenergetic system. According to scheme attached below the system contains stationary measuring device (A), movable measuring device (B), coders (1A, 1B), transmission media (L<sub>A</sub>, L<sub>B</sub>), decoders (2A, 2B), registration device with on/off switch button (3) and multiplier (5), partitioning (4) and reading modules (6). The idea of the innovation is constant registration of the field intensity and its random variation during the measurement. The movable measuring instrument changes position and is used to measure the intensity of magnetic field at various points. Thus determined values of magnetic field are free of errors related to changes during measurements. Depending on measured parameter the result can be given in amperes per meter [A/m] or kilovolts per meter [kV/m]. The novel system allows for sending results using wireless network to an external measurement/registration devices by installing proper interface. The system can be adjusted with regards to purpose and methodology of electromagnetic field measurements against users' needs and requirements.

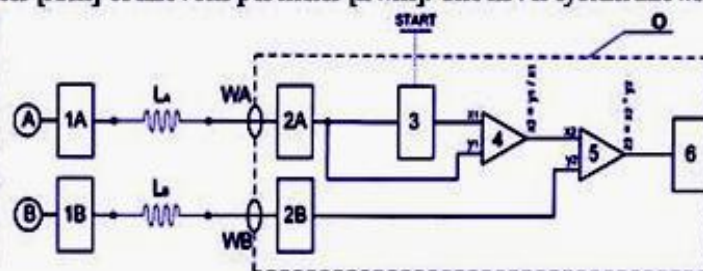






Figure 1. System for measuring distribution of electromagnetic field scheme.

The system was tested at in real conditions around an overhead power lines with satisfying results.

<p><b>APPLICATIONS/MARKETS</b></p> <p>The electromagnetic field measurements are basic method for assessing the influence to its exposition. Nowadays, all populations are exposed to varying degrees of EMF, and its level will increase as technology advances. The system for measuring distribution of electromagnetic field can be used in EMF monitoring, especially in natural environment. The offer is addressed to EMF measurement devices manufacturers as well as to R&amp;D facilities. The system can be useful for electric power engineering, EH&amp;S or telecommunication industry, also to reduce errors during sound measurements.</p>		
<p><b>INNOVATION/ADVANTAGES</b></p> <p>Due to progress of civilization and its inextricable connection with electricity infrastructure growth new demands are given to EMF devices and measurements methods. The offered system presents following advantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•→ accurate result thanks to two measuring devices with different positions</li> <li>•→ possibility to obtained EMF results correction</li> <li>•→ simple measurement methodology</li> <li>•→ automation of the measurement process by a possibility to design and produce measuring device containing at least two probes (including probe responsible for emission source variability measurements). The meter would let to reduce the number of people taking the measurements and the operating time improving the accuracy at the same time.</li> <li>•→ possibility to adjust the system according to users' needs and preferences</li> <li>•→ possibility to transmit data using wireless network to reduce measurement and exposure time to EMF</li> <li>•→ wide range of applications: the system can be used during current as well as noise measurements.</li> </ul>		
<p><b>IP STATUS</b></p> <p><input type="checkbox"/> Patent application</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Patent</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Know-how</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Other</p>	<p><b>COMMERCIALISATION FORM</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Sale</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Implementation contract</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Granting a license</p> <p><input type="checkbox"/> Spin-off</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Other contract</p>	<p><b>LEVEL OF IMPLEMENTATION READINESS</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> A concept and a theoretical model</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> An experimental validation of the concept</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Initial technology / demonstrator</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Tests in the laboratory conditions</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Tests in real conditions</p> <p><input type="checkbox"/> Final technology / prototype</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> A technology verified in the operational conditions</p>
<p><b>CONTACT</b></p> <p>Anna Szczyńska          Wrocław University of Science and Technology          tel.: 71 320 43 51 • <a href="mailto:anna.szczyńska@pwr.edu.pl">anna.szczyńska@pwr.edu.pl</a>          48 Smoluchowskiego St. • 50-372 Wrocław</p>		
<p>     </p>		

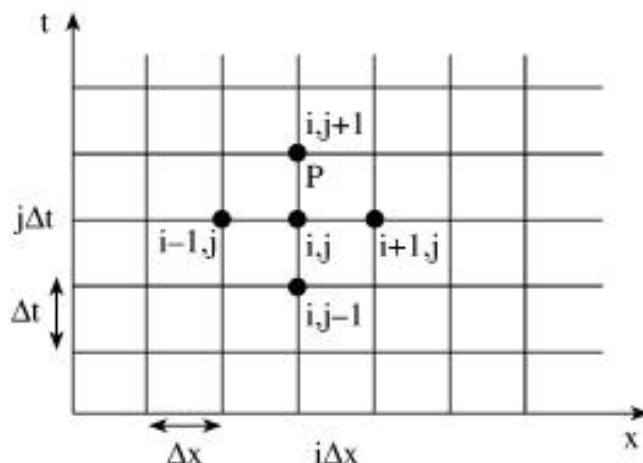
## Omówienie dodatkowego osiągnięcia nr 2

W zakresie badań dotyczących analizy rozkładu pola elektromagnetycznego:

### A. Zbadanie wpływu doboru parametrów symulacji metodą elementów skończonych na dokładność uzyskanych wyników rozkładów natężenia pola elektrycznego

W artykule [3] habilitant przedstawił wyniki przeprowadzonych badań oraz wynikające z nich zależności doboru parametrów symulacji cyfrowych metodą elementów skończonych na dokładność uzyskanych wyników dotyczących wartości rozkładów pola elektrycznego. Obliczenia zrealizowano na przykładzie wybranej napowietrznej linii elektroenergetycznej o napięciu 220 kV. Przeprowadzono serię cyfrowych symulacji rozkładu natężenia pola elektrycznego generowanego przez tę linię.

Opis matematyczno-fizyczny zjawiska emisji pola elektromagnetycznego przez układy elektroenergetyczne o skomplikowanej strukturze wykorzystuje bardzo złożony aparat matematyczny. Za pośrednictwem równań różniczkowych można określić rozkład potencjału elektrycznego lub natężenia pola elektrycznego w dowolnym wybranym punkcie przestrzeni. Niestety analiza skomplikowanych zagadnień, a w większości takie właśnie przypadki występują w elektroenergetyce, okazuje się w praktyce niemożliwa. Zarówno pomiarowe jak i obliczeniowe sposoby identyfikacji rozkładu natężenia pola elektromagnetycznego nie są pozbawione wad, z których najpoważniejszą jest stosunkowo duży błąd, którym z wielu różnych powodów obarczony jest ostateczny wynik.



Rys.1. Siatka elementów skończonych wraz z zaznaczonymi węzłami

Najprostszym sposobem obliczeniowej identyfikacji potencjału elektrycznego a następnie określenia natężenia składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego w środowisku gdzie znajdują się tory prądowe urządzeń lub linii elektroenergetycznych różnych napięć oraz w dowolnej konfiguracji geometrycznej jest zastosowanie metody różnicowej. Metoda ta pozwala na zamianę opisu różniczkowego przy pomocy równań różnicowych. Dzięki odpowiedniemu zagęszczeniu węzłów siatki wyniki uzyskane w ten sposób obarczone są stosunkowo niewielkimi błędami rozwiązania przybliżonego. Przed przystąpieniem do wykonania obliczeń należy określić warunki początkowe badanego zagadnienia. Węzłom, w których znane są wartości

potencjału elektrycznego należy przypisać te wartości. Pozostałym węzłom należy przypisać dowolne wartości potencjału, przy czym najczęściej przyjmuje się w nich wartości zerowe. Wykonując kolejne iteracje dla całej tablicy węzłów określa się wartość funkcji potencjału elektrycznego dla każdego punktu siatki na podstawie wartości funkcji w czterech sąsiednich punktach (Rys. 1).

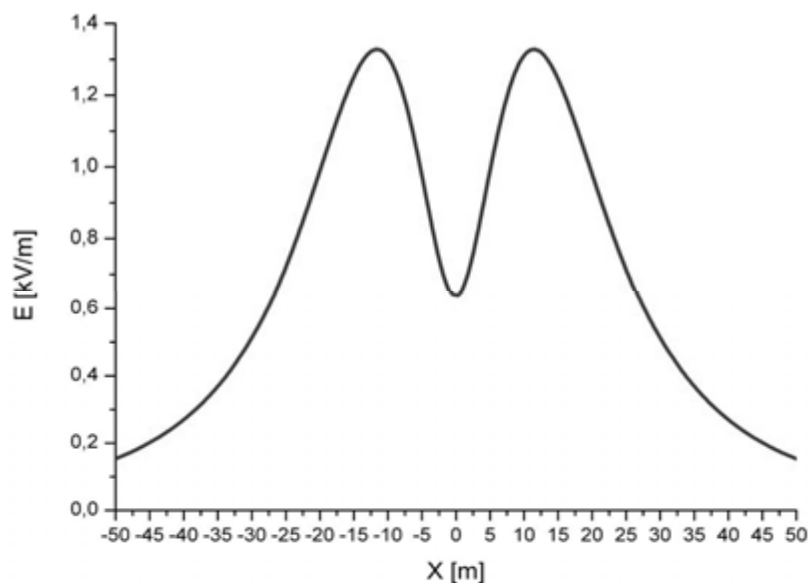
$$(1) \quad \Phi(i, j) = \frac{1}{4} [\Phi(i+1, j) + \Phi(i-1, j) + \Phi(i, j+1) + \Phi(i, j-1)]$$

Po wykonaniu serii iteracji błąd rozwiązania można określić za pomocą zależności:

$$(2) \quad \max |V_h^{(j+1)} - V_h^j| \leq \varepsilon$$

gdzie:  $j=1,2,3,\dots$  oznacza kolejny numer iteracji.

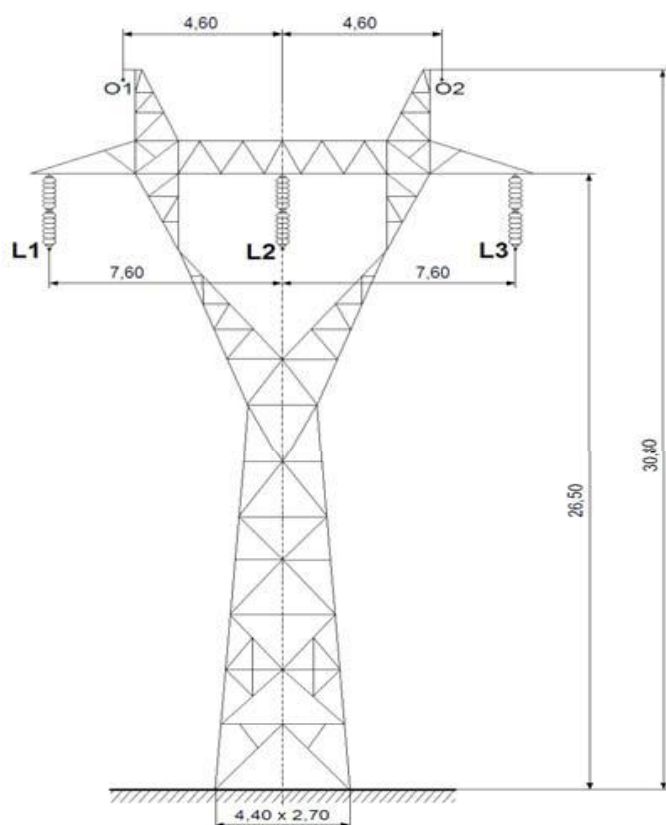
Parametry podlegające zmianie podczas przeprowadzonej analizy rozkładu natężenia pola elektrycznego pod linią napowietrzną 220 kV to: gęstość siatki elementów różnicowych, liczba węzłów siatki w regionie rozwiązania, liczba iteracji wymagana do osiągnięcia zadanej dokładności obliczeń oraz czas wykonania obliczeń. Na rysunku 2 przedstawiono rozkład składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego w wybranym przekroju poprzecznym przęsła elektroenergetycznej linii napowietrznej 220 kV. Po przeprowadzeniu serii symulacji przy zastosowaniu metody elementów skończonych uzyskałem wyniki rozkładu natężenia pola elektrycznego w otoczeniu badanego przypadku napowietrznej linii elektroenergetycznej. W analizowanym przekroju poprzecznym po uwzględnieniu zwisu oraz długości zastosowanych izolatorów wszystkie trzy przewody robocze zlokalizowane są na wysokości 17,2 m oraz oba przewody odgromowe zlokalizowane są na wysokości 25,0 m nad poziomem gruntu.



Rys.2. Rozkład natężenia pola elektromagnetycznego pod linią 220 kV wyznaczony obliczeniowo na wysokości  $h=2$  m ponad poziomem ziemi

Pozostałe wymiary geometryczne są zgodne z wymiarami zamieszczonymi na rysunku 3. Wyniki przeprowadzonych symulacji różnią się między sobą w zależności od zagęszczenia węzłów siatki jak również od liczby iteracji niezbędnych do uzyskania rozwiązania. Z liczbą iteracji nieodłącznie związana jest dokładność rozwiązania przybliżonego rosnąca wraz ze zwiększaniem liczby iteracji. Przedstawiony w tabeli 1 oraz tabeli 2 czas wykonania obliczeń podzielono na dwa etapy osobny dla rozwiązania składowej rzeczywistej (Etap I) oraz składowej urojonej (Etap II). Następnie na podstawie tak uzyskanych wyników wyznaczono wartości natężenia pola elektrycznego dla każdego węzła siatki. Całkowity czas wykonania cyfrowej symulacji analizowanego problemu stanowi sumę czasów trwania każdego z etapów.

Wyniki serii symulacji przeprowadzonych dla liczby iteracji od 2 tys. do 2 mln zestawiono w tabeli 1.



Rys.3. Sylwetka słupa przelotowego typu H52 linii napowietrznej 220 kV

W kolejnym kroku zbadano zależność pomiędzy zagęszczeniem węzłów siatki elementów różnicowych a dokładnością uzyskanych wyników oraz czasem wykonania obliczeń przy stałej liczbie węzłów wynoszącej 200 000. Zakres zmiany odległości międzywęzłowych zawierał się w zakresie od 5 cm do 20 cm. Wyniki zestawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Zestawienie czasu wykonania obliczeń oraz błędów przybliżenia w zależności od liczby iteracji dla badanego zagadnienia numerycznego

Badany parametr	Liczba iteracji				
	2 000	20 000	100 000	200 000	2 000 000
Max błąd bezwzgl. [kV]	7,289	6,254	6,168	6,105	6,104
Max błąd wzgl. [%]	3,31	2,84	2,80	2,78	2,77
Czas wykonania obl. Etap I	00 h 01 m 28 s	00 h 02 m 30 s	00 h 12 m 11 s	00 h 24 m 07 s	03 h 58 m 37 s
Czas wykonania obl. Etap II	00 h 00 m 56 s	00 h 02 m 46 s	00 h 12 m 07 s	00 h 24 m 08 s	03 h 59 m 27 s
Czas wykonania obl. Razem	00 h 02 m 24 s	00 h 05 m 16 s	00 h 24 m 18 s	00 h 48 m 15 s	07 h 58 m 07 s

W każdym analizowanym przypadku obliczenia wykonano na komputerze PC z procesorem i5 oraz pamięcią operacyjną RAM wielkości 8 GB pracującym pod kontrolą systemu operacyjnego Windows 8. Cyfrowa symulacja rozkładu natężenia pola elektrycznego została wykonana przy użyciu aplikacji napisanej w środowisku Java.

Tabela 2. Zestawienie czasu wykonania obliczeń oraz błędów przybliżenia w zależności od odległości międzywęzłowych siatki MES dla badanego zagadnienia numerycznego

Badany parametr	Odległości międzywęzłowe siatki MES		
	20 cm	10 cm	5 cm
Max błąd bezwzględny [kV]	7,633	6,717	5,105
Max błąd względny [%]	3,47	3,05	2,78
Czas wykonania obl. Etap I	00 h 24 m 22 s	00 h 24 m 17 s	00 h 24 h 07 s
Czas wykonania obl. Etap II	00 h 24 m 31 s	00 h 23 m 49 s	00 h 24 m 08 s
Czas wykonania obl. Razem	00 h 48 m 53 s	00 h 48 m 06 s	00 h 48 m 15 s

Współcześnie stosowane komputery pozwalają na wspomaganie procesu obliczeniowej identyfikacji natężenia pola elektrycznego generowanego przez przesyłowe linie napowietrzne lub stacje elektroenergetyczne.

Tym samym możliwe jest szybkie przygotowanie przestrzennych rozkładów badanych wielkości fizycznych już na etapie projektowania lub modernizacji obiektu lub, co jest równie istotne, określenie szerokości pasa technologicznego, w którym występuje przekroczenie dopuszczalnych wartości pola elektromagnetycznego. Raporty stworzone na podstawie



symulacji cyfrowych bazujących na metodzie elementów skończonych stanowią podstawę do oceny możliwości zagospodarowania terenów sąsiadujących z projektowanymi lub istniejącymi obiektami elektroenergetycznymi i prowadzenia tam zabudowy.

### **Podsumowanie osiągnięcia 2 podpunkt a**

Metody analityczne w większości przypadków zawodzą przy próbach analizy obszarów o złożonej pozbawionej symetrii budowie geometrycznej, natomiast metody numeryczne pozwalają na elastyczną analizę przypadków o dowolnej geometrii przy zachowaniu wymaganej dokładności uzyskanych wyników rozkładu potencjału lub natężenia pola elektrycznego. Metody obliczeniowe pozwalają na weryfikację wyników uzyskanych metodą pomiarową i umożliwiają wskazanie punktów pomiarowych, w których występują lokalne maksima czy minima natężenia pola elektrycznego w wybranym przekroju poprzecznym.

Wszystkie krzywe rozkładu natężenia pola elektrycznego uzyskane w wyniku przeprowadzenia serii symulacji cyfrowych opisanych powyżej były zbliżone co do kształtu, tzn. charakteryzowały się symetrią względem geometrycznej osi linii napowietrznej, posiadały dwa maksima w odległościach 7-8 m licząc od osi linii oraz lokalne minimum zlokalizowane dokładnie pod środkowym przewodem.

### **Habilitant zbadał i wykazał, że:**

- Kolejne zwiększanie liczby iteracji w metodzie różnicowej nawet o rząd wielkości nie prowadzi w konsekwencji do liniowej poprawy dokładności uzyskanych wyników symulacji,
- Poprawa ta wraz ze wzrostem liczby iteracji jest coraz mniejsza, za to czas wykonania obliczeń rośnie wykładniczo,
- Zmniejszenie odstępów międzywęzłowych siatki elementów różnicowych oraz liczby węzłów przy zachowaniu tej samej liczby przeprowadzonych iteracji skutkuje poprawą precyzji uzyskanych wyników nie wpływając przy tym znacząco na czas wykonania obliczeń.

### **Literatura**

- [3] Szafrowski Dariusz, Gumiela Jacek: "Analiza wpływu doboru parametrów symulacji metodą elementów skończonych na dokładność uzyskanych wyników". Przegląd Elektrotechniczny. 2019. R. 95, nr 1, s. 109-112  
Adres elektroniczny publikacji: <http://pe.org.pl/articles/2019/1/28.pdf>  
**Punktacja MNiSW z 2018: 14. Lista Filadelfijska**

**B. Zbadanie i określenie sposobu kształtowania rozkładu pola elektrycznego pochodzącego od napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia oraz ograniczania natężenia pola w środowisku poprzez zastosowanie dedykowanych środków technicznych umożliwiające racjonalne gospodarowanie gruntami zlokalizowanymi w pobliżu napowietrznych linii elektroenergetycznych**

Na osiągnięcie „B” składa się również zbadanie celowości zastosowania dodatkowych uziemionych przewodów w napowietrznych liniach elektroenergetycznych najwyższych napięć w celu ograniczenia natężenia pola elektrycznego generowanego przez przewody fazowe. Jest to szczególnie ważne ponieważ wytyczenie trasy linii elektroenergetycznej w zurbanizowanym obszarze podlega wielu ograniczeniom oraz wymaga spełnienia szeregu kryteriów wynikających z przepisów dotyczących ochrony środowiska. Dlatego tak ważne są wszystkie możliwe rozwiązania, które mogą pozwolić na ograniczenia uciążliwości oddziaływania linii najwyższych napięć w zakresie generowanych przez nie pól elektromagnetycznych. Ustawodawcy zawarli te ograniczenia w odpowiednich aktach prawnych poprzez określenie granicznych wartości m.in. dla składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego. Zapisy te determinują między innymi szerokość tzw. pasa technologicznego oraz ograniczenia w zagospodarowaniu sąsiadujących terenów. Ze względu na wartość gruntów na terenach miejskich korzystne jest prowadzenie działań mających na celu ograniczenie szerokości pasa technologicznego w celu optymalnej gospodarki tymi gruntami. Na przykładzie istniejącej linii 110 kV poddałem analizie możliwe warianty realizacji tego założenia. **W 2019 roku habilitant zgłosił dwa zgłoszenia patentowe będące znacznym rozszerzeniem poziomu techniki związanej z możliwościami ograniczenia emisji pola elektromagnetycznego generowanego przez linie elektroenergetyczne najwyższych napięć:**

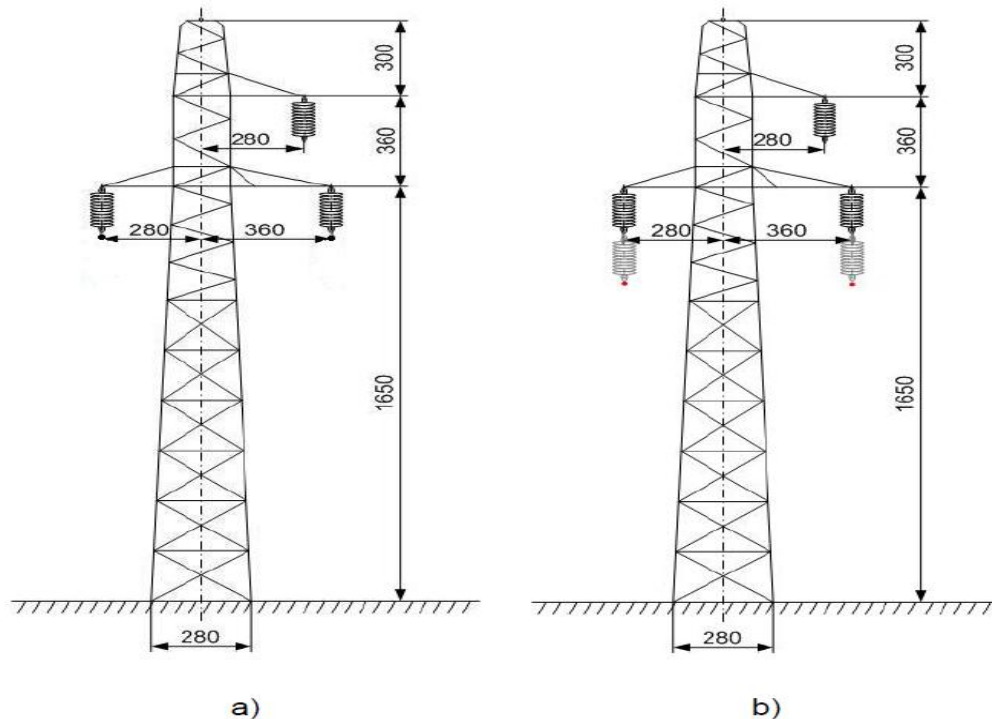
1. „Linia elektroenergetyczna niskiej częstotliwości częściowo eliminująca szkodliwe pole elektromagnetyczne”, zgłoszenie nr P428694,

2. „Linia elektroenergetyczna niskiej częstotliwości z kompensacją szkodliwego pola elektromagnetycznego”, zgłoszenie nr P428696.

Habilitant zbadał rozwiązanie techniczne polegające na zawieszeniu dodatkowych przewodów ekranujących umiejscowionych poniżej najniższych położonych przewodów roboczych linii napowietrznej w odpowiedniej odległości zapewniającej izolację przed składową elektryczną generowaną przez ten przewód. Do zamocowania przewodów ekranujących wykorzystano typowe izolatory długopniowe 110 kV (model: LP75/31).

Przewody ekranujące zostały galwanicznie połączone z obiema konstrukcjami wsporczymi, co bez względu na występujące zjawisko indukcji elektrycznej zapewnia występowanie potencjału ziemi na całej długości dodatkowego przewodu i pozwala zredukować składową elektryczną pola elektromagnetycznego. Habilitant zbadał skuteczność takiej metody sterowania rozkładem linii sił pola mającej na celu ograniczenie maksymalnej wartości natężenia pola elektrycznego oraz szerokość pasa terenu znajdującego się pod w/w linią napowietrzną gdzie natężenie pola elektrycznego przekraczałoby wartość 1 kV/m.

Rysunek.1. (a) przedstawia słup typu B2 linii napowietrznej 110 kV oraz Rysunek.1. (b) przedstawia ten sam typ słupa z dodatkowymi izolatorami zaznaczonymi kolorem szarym służącymi do zamocowania dodatkowych uziemionych przewodów mających za zadanie obniżenie wartości natężenia składowej elektrycznej.



Rys. 1. Słup typu B2 linii napowietrznej 110 kV rys. 1. a) i ten sam typ słupa z dodatkowymi izolatorami (oznaczonymi na szaro) do mocowania dodatkowych uziemionych przewodów ekranujących rys.1. b)

Obliczeniowej identyfikacji rozkładu pola elektrycznego poddałem dwa przypadki:

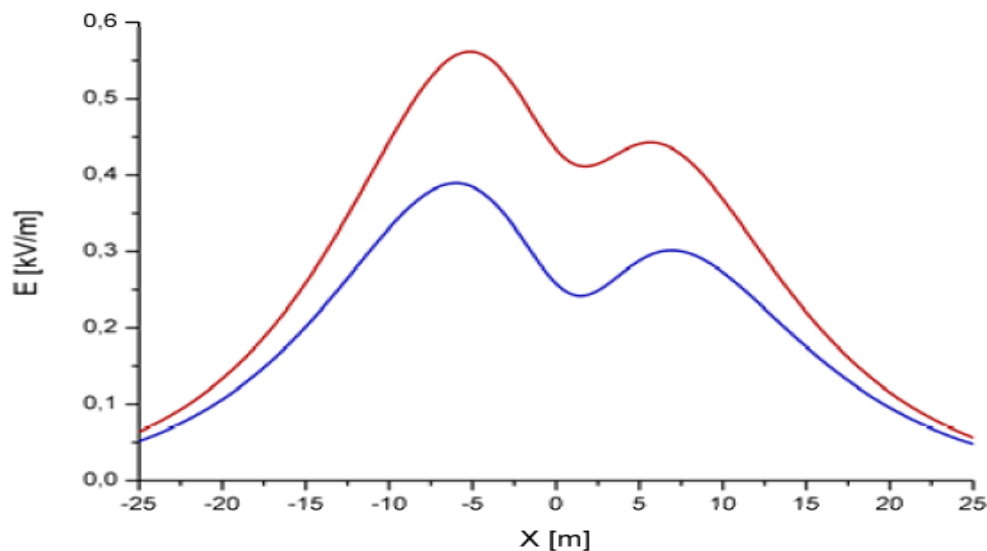
- typowy wariant linii napowietrznej 110 kV bez przewodów ekranujących (Rys. 1a)
- rzeczywisty wariant linii napowietrznej 110 kV wraz z przewodami ekranującymi (Rys. 1b)

Parametry techniczne linii 110 kV:

- przewód roboczy typu AFL-6 240 mm<sup>2</sup> ( $\sigma=90\text{MPa}$ ,  $g=0,0336$ ,  $d=21,7\text{mm}$ )
- przewód odgromowy (dodatkowy uziemiony) typu O/FL 70mm<sup>2</sup> ( $\sigma=120\text{MPa}$ ,  $g=0,077$ ,  $d=11\text{mm}$ )
- słup typu B2
- długość przęsła  $L=140\text{ m}$
- maksymalny zwis przewodu wynosi  $f=1,03\text{ m}$
- długość izolatora HI=1,8 m typ LP75/31

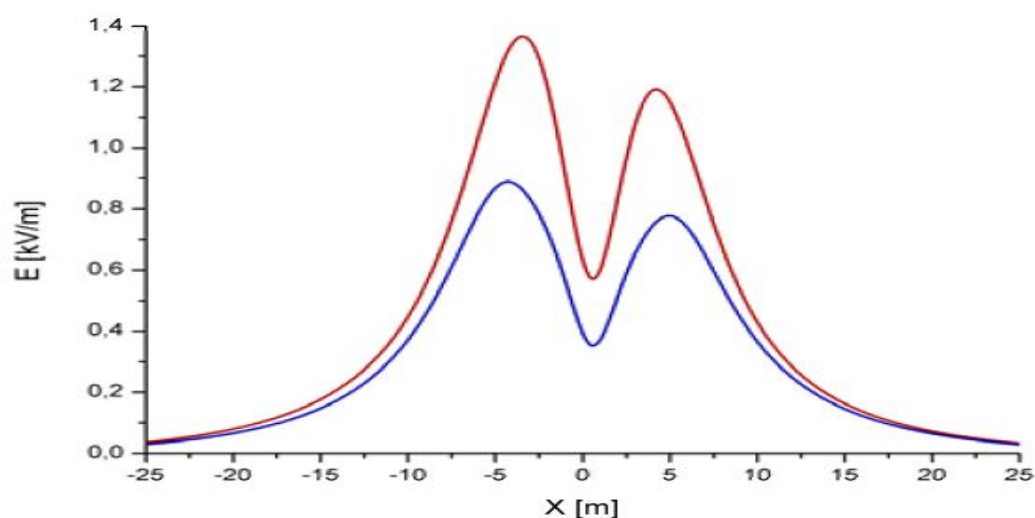
Na rysunku 1a przedstawiono sylwetkę przelotowego słupa typu B2 napowietrznej linii 110 kV oraz podstawowe wymiary geometryczne konstrukcji wsporczych, a na Rysunku 1b zaznaczono lokalizację dodatkowych, uziemionych przewodów. Obliczeniowa identyfikacja rozkładu pola elektrycznego została przeprowadzona dla punktu środkowego przęsła, tj. tam, gdzie odległość przewodów fazowych od ziemi jest najmniejsza dla odległości do 25m w obie strony od osi linii napowietrznej. To jest najbardziej niekorzystny przypadek, w którym dla danego przęsła natężenie pola elektrycznego generowanego przez linię elektroenergetyczną osiąga najwyższe wartości. Do wyznaczenia rozkładu pola elektrycznego wykorzystano metodę elementów skończonych, która ze swojej natury daje rozwiązanie przybliżone, jednak pozwala na obliczeniową identyfikację obiektów o dowolnej nietypowej strukturze i/lub geometrii.

Na rysunku rys.2 zilustrowano przeliczone natężenie pola elektrycznego wyznaczone na podstawie symulacji cyfrowych. Ekranowanie dodatkowo poprawia sytuację powodując obniżenie wartości natężenia pola w każdym z punktów badanego terenu.



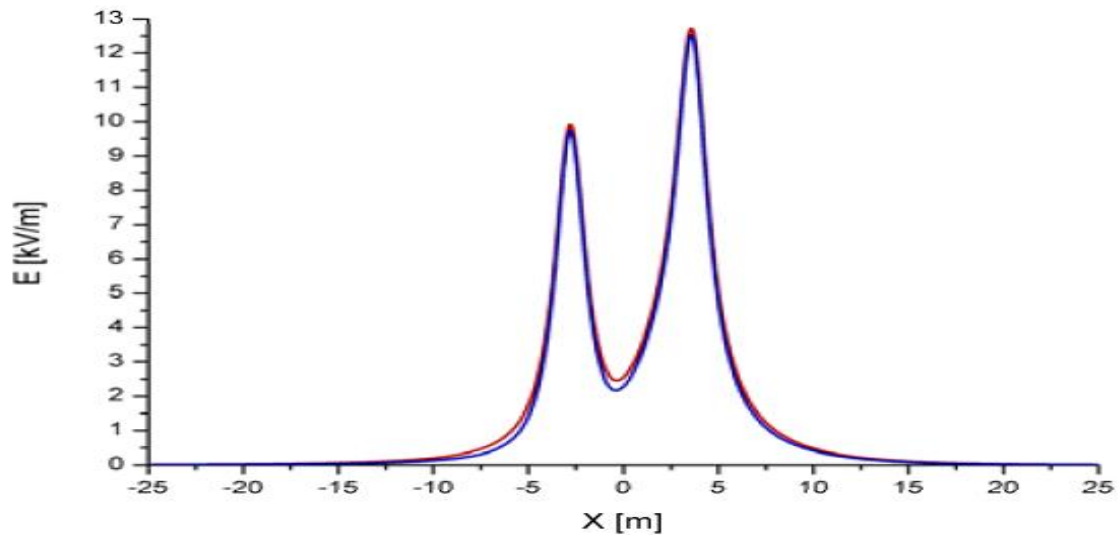
Rys. 2. Rozkłady natężenia pola elektrycznego generowanego przez linię napowietrzną 110 kV wyznaczone numerycznie przy  $h = 2$  m nad ziemią. Czerwony kolor pokazuje rozkład wartości pola elektrycznego bez ekranowania, a niebieski kolor z dodatkowym przewodem ekranującym

Habilitant dokonał analizy narażenia na różnych wysokościach na oddziaływanie pola elektrycznego o wartości przekraczającej 1 kV/m. Wyniki drugiej cyfrowej symulacji rozkładu pola elektrycznego wykonanej na wysokości kalenicy  $h=8$  m przedstawiłem w formie graficznej na rysunku rys. 3. Jak widać w przypadku gdyby nie zostały zastosowane dodatkowe uziemione przewody zamocowane pod dwoma dolnymi przewodami roboczymi linii napowietrznej uzyskane wypadkowe natężenie pola elektrycznego nieznacznie przekroczyłoby wartość dopuszczalną i wynosiłoby  $E=1,36$  kV/m.



Rys. 3. Rozkłady natężenia pola elektrycznego generowanego przez linię napowietrzną 110 kV wyznaczone numerycznie przy  $h = 8$  m nad ziemią. Czerwony kolor pokazuje rozkład wartości pola elektrycznego bez ekranowania, a niebieski kolor z dodatkowym przewodem ekranującym

Dzięki zastosowaniu uziemionych przewodów ekranujących udało się na wysokości  $h=8\text{m}$  uzyskać znaczne obniżenie występującego tam natężenia pola elektrycznego i ograniczenie go poniżej wartości dopuszczalnej poniżej  $1\text{ kV}$  przy maksimum równym  $E=0,89\text{ kV/m}$ .



Rys. 4. Rozkłady natężenia pola elektrycznego generowanego przez linię napowietrzną 110 kV wyznaczone numerycznie przy  $h = 14\text{ m}$  nad ziemią. Czerwony kolor pokazuje rozkład wartości pola elektrycznego bez ekranowania, a niebieski kolor z dodatkowym przewodem ekranującym

Analiza natężenia pola elektrycznego w przedziale pomiędzy dodatkowymi uziemionymi przewodami a najniższymi położonymi przewodami fazowymi ukazuje bardzo dużą zmianę wartości natężenia pola elektrycznego.

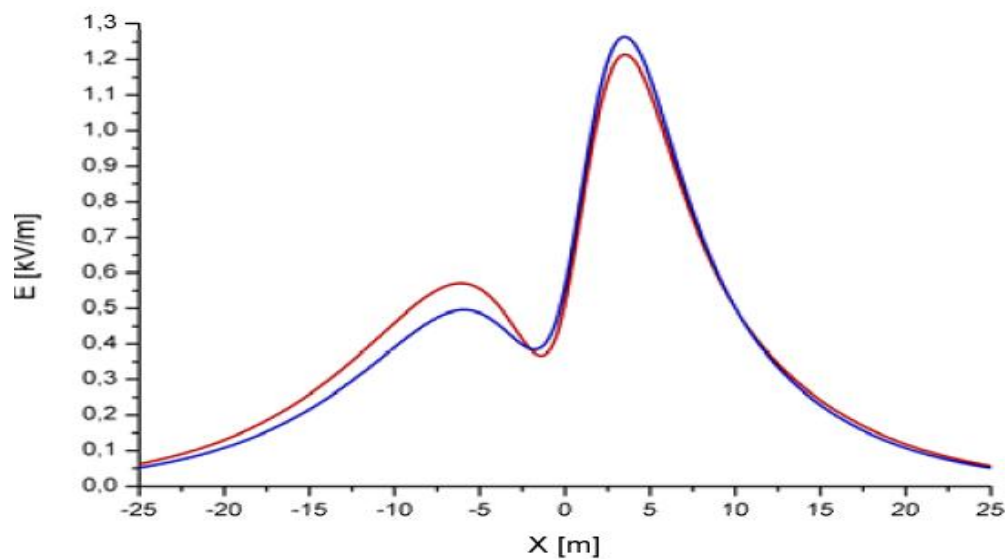


Fig.5. Rozkłady natężenia pola elektrycznego generowanego przez linię napowietrzną 110 kV wyznaczone numerycznie przy  $h = 22\text{ m}$  nad ziemią. Czerwony kolor pokazuje rozkład wartości pola elektrycznego bez ekranowania, a niebieski kolor z dodatkowym przewodem ekranującym

Efekt ten występuje ponieważ cały spadek potencjału od pełnego potencjału przewodu fazowego aż do zerowego potencjału ziemi musi odbyć się na znacznie krótszym dystansie niż w przypadku linii elektroenergetycznej nie posiadającej dodatkowo uziemionych przewodów ekranujących. Z tego powodu pojemność doziemna takiej linii ulega zwiększeniu, co bezpośrednio wpływa na wielkość strat przesyłowych występującymi podczas transportu energii. Stosowanie dodatkowych przewodów ekranujących umieszczonych poniżej dolnych przewodów fazowych ma niewielki wpływ na kształt krzywej opisującej przestrzenny rozkład natężenia pola elektrycznego jak również osiąganych wartości maksymalnych, które są znaczne i przekraczają nawet wartość  $E=12 \text{ kV/m}$ .

Przewód odgromowy wnosi do analizowanego układu potencjał zerowy ziemi i tym samym powoduje zmianę rozkładu linii sił pola elektrycznego. Ze względu na swoją lokalizację silnie wpływa to na zmianę wartości natężenia pola elektrycznego w zakresie wysokości powyżej konstrukcji wsporczych linii napowietrznej.

**W wyniku przeprowadzonej obliczeniowej identyfikacji rozkładu pola elektrycznego habilitant wykazał, że:**

- **Zastosowanie dodatkowych uziemionych elementów konstrukcyjnych zlokalizowanych pomiędzy przewodami roboczymi a ziemią pozwala na obniżenie wypadkowego pola elektrycznego na wysokości 2m w pasie prostopadłym do osi linii elektroenergetycznej,**
- **Zastosowanie dodatkowych uziemionych elementów konstrukcyjnych zlokalizowanych pomiędzy przewodami roboczymi a ziemią powoduje silną lokalną zmianę przebiegu linii sił pola elektrycznego w przestrzeni pomiędzy nimi. Skutkuje to zwiększeniem pojemności doziemnych linii napowietrznej, a w konsekwencji wzrostem strat przesyłowych na odcinku objętym wpływem dodatkowych przewodów ekranujących,**
- **Proponowana konfiguracja geometryczna przewodów roboczych oraz uziemionych przewodów dodatkowych pozwala na celowe kształtowanie rozkładu wypadkowego pola elektrycznego jakie jest generowane w trakcie pracy napowietrznej linii elektroenergetycznej.**

Do osiągnięć z zakresu badań dotyczących analizy rozkładu pola elektromagnetycznego zaliczam również przedstawione w artykule [5] wykonane numeryczne analizy rozkładu pól elektrycznych w otoczeniu elektroenergetycznych linii napowietrznych

W celu zaprezentowania metod oraz praktycznych możliwości kształtowania rozkładu pola elektrycznego w pobliżu wielotorowych linii elektroenergetycznych habilitant posłużył się dwoma przykładami konstrukcyjnymi napowietrznej linii elektroenergetycznej o napięciu 400 kV zbudowanych w oparciu o przelotowe słupy kratowe typu Z52 oraz E33P. Natężenie pola elektrycznego w obu przypadkach obliczone zostało dla wysokości  $h=2 \text{ m}$  nad poziomem terenu. Dokładność wyznaczenia natężenia pola elektrycznego przy pomocy metody różnicowej jest na poziomie 5%. Na siatkę elementów różnicowych nałożono przekrój poprzeczny pręgi linii napowietrznej, dla której w punktach odpowiadających lokalizacji przewodów przyjęto ich potencjały względem ziemi. Całej powierzchni gruntu znajdującego się pod przewodami przypisano potencjał zerowy, równy potencjałowi ziemi. W kolejnych iteracjach dokonano wyliczenia nowego rozkładu potencjału, aż do momentu osiągnięcia założonej dokładności według modelu matematycznego bazującego na metodzie elementów różnicowych. Ze względu

na konieczność dotrzymania określonych standardów środowiskowych zbadano możliwość ograniczenia wielkości terenu przeznaczanego na pas technologiczny oraz skoncentrowano się na sposobach redukcji oddziaływania pola elektrycznego na środowisko. Dokładne wyniki habilitant opisał w publikacji [5].

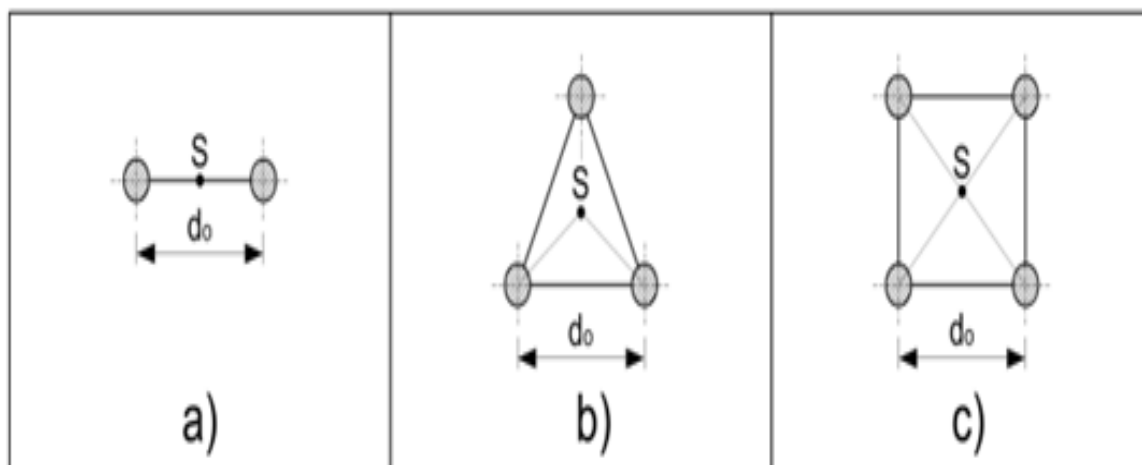
**W przeprowadzonych badaniach habilitant wykazał, że:**

- **Zwiększenie liczby torów prądowych na jednym słupie pozwala ograniczyć zużycie materiału oraz liczbę konstrukcji w terenie przy zachowaniu identycznych możliwości przesyłowych linii napowietrznej w stosunku do jednotorowej linii elektroenergetycznej,**
- **Przy zastosowaniu zaplanowanej konfiguracji geometrycznej rozmieszczenia poszczególnych torów prądowych oraz przewodów fazowych można uzyskać efekt wzajemnego kompensowania się pól składowych pochodzących od każdego z przewodów,**
- **Zastosowanie numerycznych symulacji rozkładu pola elektrycznego oraz pola magnetycznego pozwala na szybkie przeprowadzanie obliczeniowej identyfikacji rozkładu natężenia pól w środowisku i tym samym na wybór optymalnego wariantu konfiguracji linii już na etapie projektu budowy lub konieczności modernizacji linii.**

**C. Zbadanie metodą symulacji cyfrowych rozkładu składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego w pobliżu torów prądowych oraz określenie technicznych możliwości ograniczenia zjawiska ulotu elektrycznego**

Jednym ze zjawisk towarzyszących pracy linii elektroenergetycznych wysokich napięć jest ulot elektryczny. Ulot odpowiada m.in. za straty elektryczne, powstawanie ozonu oraz związków chemicznych powodujących przyspieszoną korozję przewodów napowietrznej linii elektroenergetycznej. Na podstawie przeprowadzonych analiz habilitant wykazał możliwości ograniczenia występowania zjawiska ulotu, co korzystnie wpływa na trwałość przewodów fazowych oraz redukcję i zmniejszenie strat związanych z przesyłem energii elektrycznej.

Habilitant poddał analizie obliczeniowej trzy warianty wykonania napowietrznej linii 400 kV o przewodach fazowych wykonanych jako wiązki dwu- trzy- oraz czteroprzewodowych (Rys. 1 a, b oraz c) zamocowanych na typowej konstrukcji słupa przelotowego typu Y52.



Rys.1. Układ wiązek przewodów fazowych linii 400 kV (S – środek geometryczny układu)

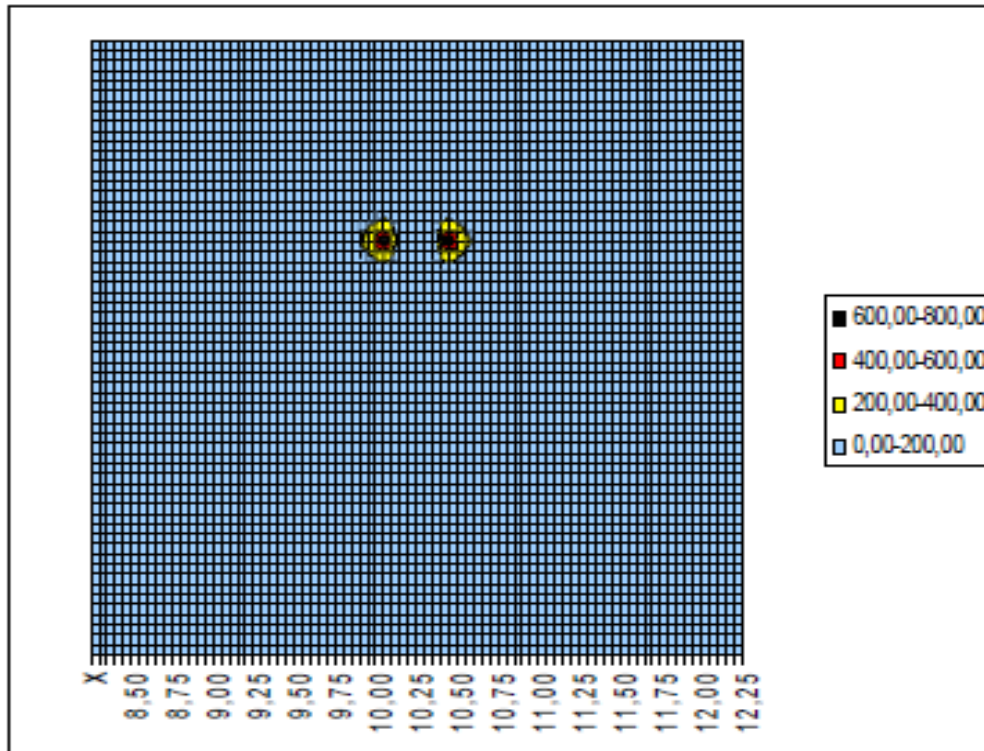
Na rysunkach 2 oraz 3 przedstawiono przykładowo w formie graficznej rozkład natężenia pola elektrycznego dla linii napowietrznej 400 kV, której przewody fazowe wykonano w formie poczwórnych wiązek przewodów. Wyniki obliczeniowej identyfikacji natężenia pola elektrycznego na płaszczyźnie pokazują rysunki 2,4 natomiast rysunki 3,5 zawierają wyniki w przestrzeni trójwymiarowej. Z rysunków tych wynika, że natężenie pola elektrycznego najwolniej maleje wraz z oddalaniem się od źródła (przewodu fazowego) w kierunku linii posiadającej początek w osi geometrycznej toru prądowego, a następnie przechodzi przez osie pojedynczych przewodów wiązek. W takich właśnie kierunkach istnieją najlepsze warunki do rozwoju wyładowań koronowych.

Widać również, że w niewielkich (kilkunasto, kilkudziesięciocentymetrowych) odległościach od wiązek przewodów fazowych zmiana wartości natężenia pola elektrycznego przybiera bardzo wysokie wartości, natomiast wraz z oddalaniem się od osi przewodów wiązkowych omawiane zjawisko zachodzi o wiele wolniej.

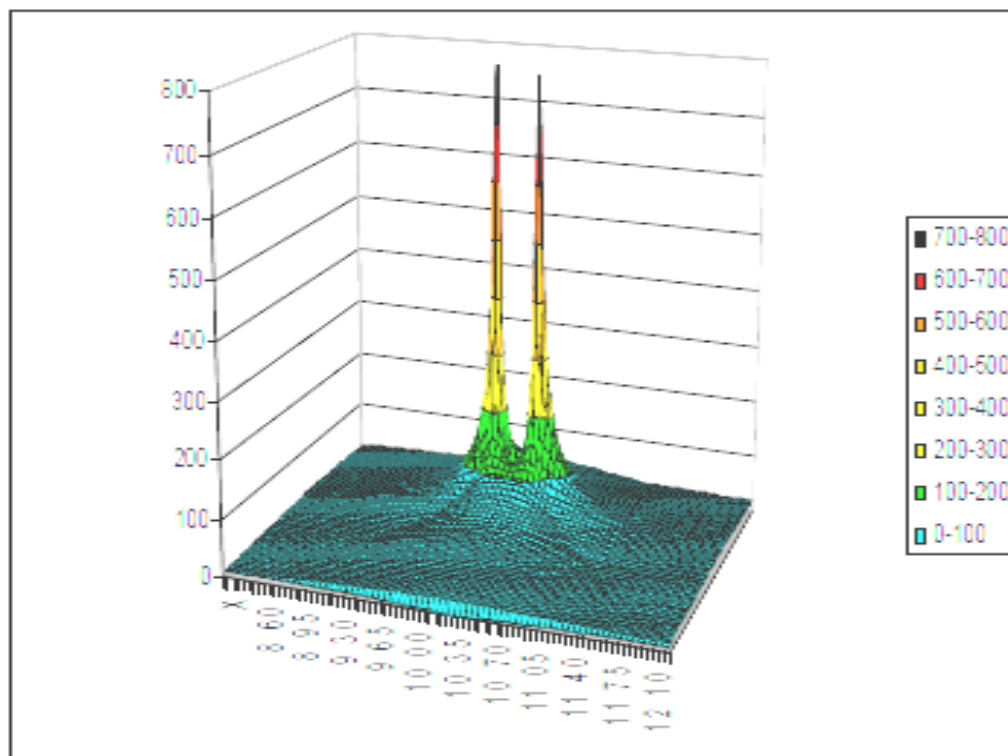
Habilitant wykazał, że geometria wiązek oraz liczba zastosowanych w niej przewodów wpływa na przebieg linii sił pola elektrycznego generowanego przez elektroenergetyczną linię napowietrzną, co widać na rysunkach 2-5.

Wykazałem, że większa liczba przewodów w wiązce przypadająca na pojedynczy tor prądowy powoduje, że lokalne maksima natężenia pola elektrycznego mają niższą wartość w stosunku do wiązek o mniejszej liczbie przewodów. W przypadku badanych wariantów gdzie przewody fazowe są podwójne natężenie pola elektrycznego wynosi  $E_{max}=795$  kV/m, natomiast przy wykonaniu wiązki przewodów fazowych w formie poczwórnej  $E_{max}=520$  kV/m.

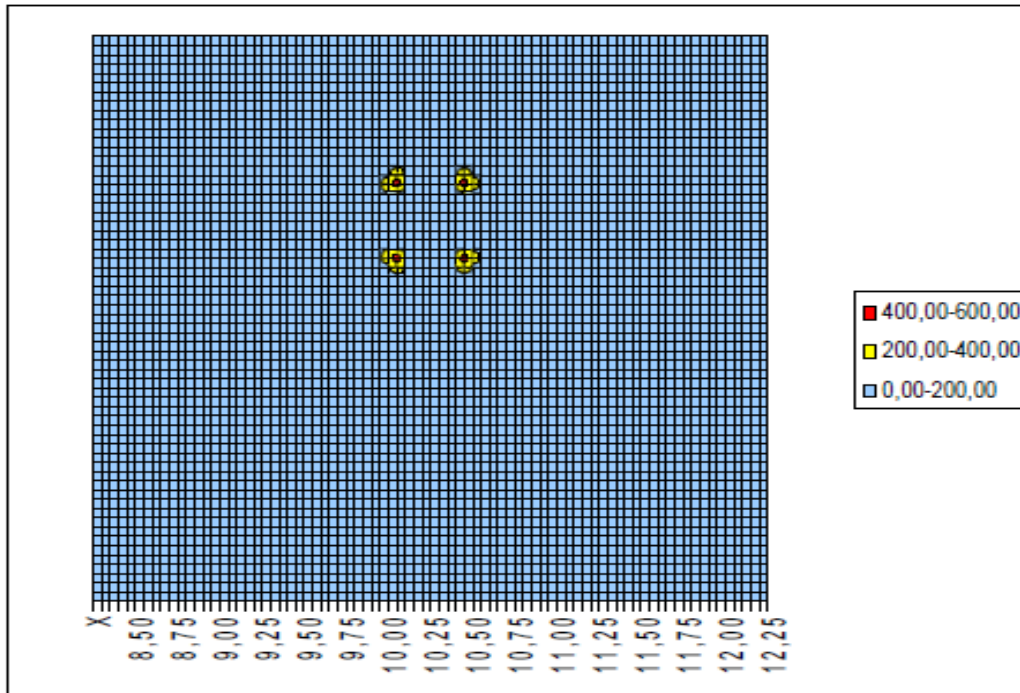




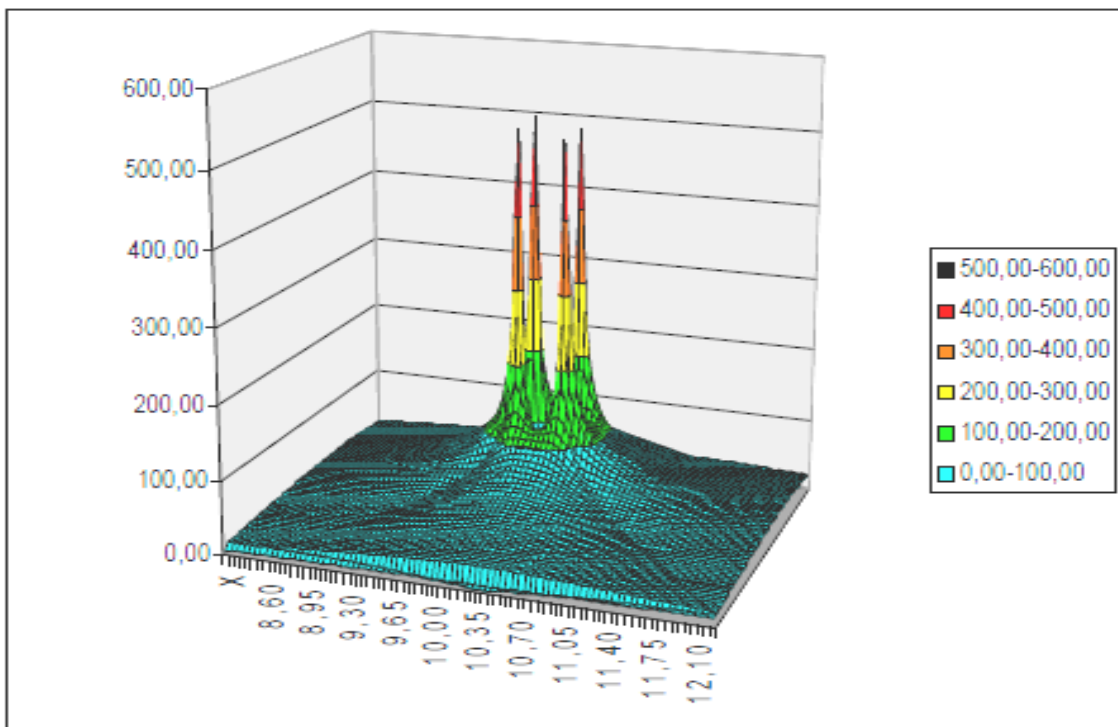
Rys.2. Graficzna prezentacja 2D wyników cyfrowych symulacji rozkładu pola elektrycznego w otoczeniu wiązki przewodów toru prądowego napowietrznej linii elektroenergetycznej 400 kV. Przewody fazowe wykonane w formie podwójnej wiązki



Rys.3. Graficzna prezentacja 3D wyników cyfrowych symulacji rozkładu pola elektrycznego w otoczeniu wiązki przewodów toru prądowego napowietrznej linii elektroenergetycznej 400 kV. Przewody fazowe wykonane w formie podwójnej wiązki



Rys.4. Graficzna prezentacja 2D wyników cyfrowych symulacji rozkładu pola elektrycznego w otoczeniu wiązki przewodów toru prądowego napowietrznej linii elektroenergetycznej 400 kV. Przewody fazowe wykonane w formie poczwórnej wiązki



Rys.5. Graficzna prezentacja 3D wyników cyfrowych symulacji rozkładu pola elektrycznego w otoczeniu wiązki przewodów toru prądowego napowietrznej linii elektroenergetycznej 400 kV. Przewody fazowe wykonane w formie poczwórnej wiązki

W przeprowadzonych symulacjach cyfrowych habilitant wykazał że:

- W przypadku wykonania torów prądowych w postaci wiązek przewodów, można zauważyć korzystny efekt takiej konstrukcji w postaci zmniejszenia objętości przestrzeni narażonych na występowanie w nich wyładowań niezupełnych redukując tym samym ich oddziaływanie na środowisko,
- Zastosowanie większej liczby przewodów w wiązce i/lub większych długości odstępników pomiędzy przewodami tej samej wiązki powoduje zwiększenie tzw. zastępczej średnicy przewodu fazowego określonej wzorami empirycznymi.
- Przewody fazowe o większych średnicach zastępczych są źródłami pola elektrycznego o mniejszej niejednorodności co wpływa korzystnie na ograniczanie możliwości wystąpienia ulotu elektrycznego,
- Zaprezentowane możliwości ograniczenia ulotu elektrycznego mają korzystny wpływ na trwałość przewodów fazowych oraz redukcję strat związanych z przesyłem energii elektrycznej.

#### Literatura

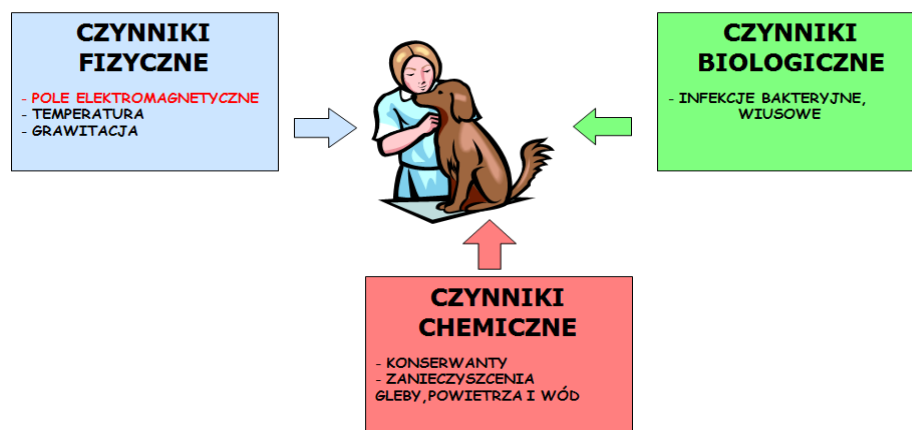
- [4] Szafrowski Dariusz, Gumiela Jacek, „Application of additional grounded wires in high voltage overhead power lines to reduce the intensity of electric field generated by phase wires”.  
Przegląd Elektrotechniczny R. 94 NR 3/2018 s. 159-161,  
**Punktacja MNiSW z 2018: 14. Lista Filadelfijska**  
**Rodzaj pracy: artykuł; zasięg międzynarodowy**
- [5] Szafrowski Dariusz, Gumiela Jacek. “Optymalizacja konstrukcji linii elektroenergetycznych WN ograniczająca wpływ generowanego pola elektromagnetycznego na środowisko.”  
*Przegląd Naukowo-Metodyczny Edukacja dla Bezpieczeństwa. 2018, R. 11, nr 1, s. 965-974,*  
**Punktacja MNiSW z 2018: 09.**
- [6] Szafrowski Dariusz, Gumiela Jacek. „Analiza technicznych możliwości ograniczania zjawiska ulotu elektrycznego zrealizowana na podstawie cyfrowej identyfikacji natężenia pola elektrycznego w otoczeniu przewodów roboczych elektroenergetycznych linii WN.”  
Przegląd Elektrotechniczny R. 94, nr 1/2018, s. 113-116,  
**Punktacja MNiSW z 2018: 14. Lista Filadelfijska**

## Omówienie dodatkowego osiągnięcia nr 3

### Zbadanie wpływu wolnozmiennego pola magnetycznego 50 Hz na DNA roślin

Opisane badania w podpunkcie 3 habilitant przeprowadził we współpracy z Zakładem Biotransformacji na Uniwersytecie Wrocławskim.

Podczas cyklu życiowego organizmy są stale narażone na różne bodźce zewnętrzne, proces ten jest często nazywany reakcją stresową. Wymaga to przez organizm podjęcia odpowiednich reakcji w celu utrzymania stałości parametrów wewnętrznych w systemie organizmu (homeostazy) Rys.1. W środowisku naturalnym jednym z czynników fizycznych na ekspozycję którego wystawione są organizmy żywe jest pole elektromagnetyczne.



Rys. 1. Podczas cyklu życiowego organizmy są stale narażone na różne bodźce zewnętrzne, proces ten jest często nazywany reakcją stresową. Wymaga to przez podjęcia organizm odpowiednich reakcji w celu utrzymania stałości parametrów wewnętrznych w systemie organizmu (homeostazy).

Ze względu na powszechność występowania pól 50 Hz w środowisku bardzo ważnym zagadnieniem jest określenie czy ten czynnik fizyczny o wartościach natężeń jakie występują w środowisku może wpływać na proces, w którym informacja genetyczna zawarta w genie zostaje odczytana i przepisana na jego produkty (ekspresję genów) w roślinach poddanych działaniu takiego pola. Dlatego celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu pola elektromagnetycznego 50 Hz na DNA roślin poprzez ekspresję genów.

**W tym celu, między innymi, habilitant wniósł wkład w opracowanie koncepcji i wykonanie projektu przeprowadzonych badań mających na celu określenie wpływu pola magnetycznego 50 Hz na regulację ekspresji promotorów genów badanych białek. Opracował projekt oraz wykonał stanowisko badawcze do ekspozycji materiału biologicznego w polu magnetycznym 50 Hz a dokładny opis przeprowadzonych badań zawarty został w artykule [7].**

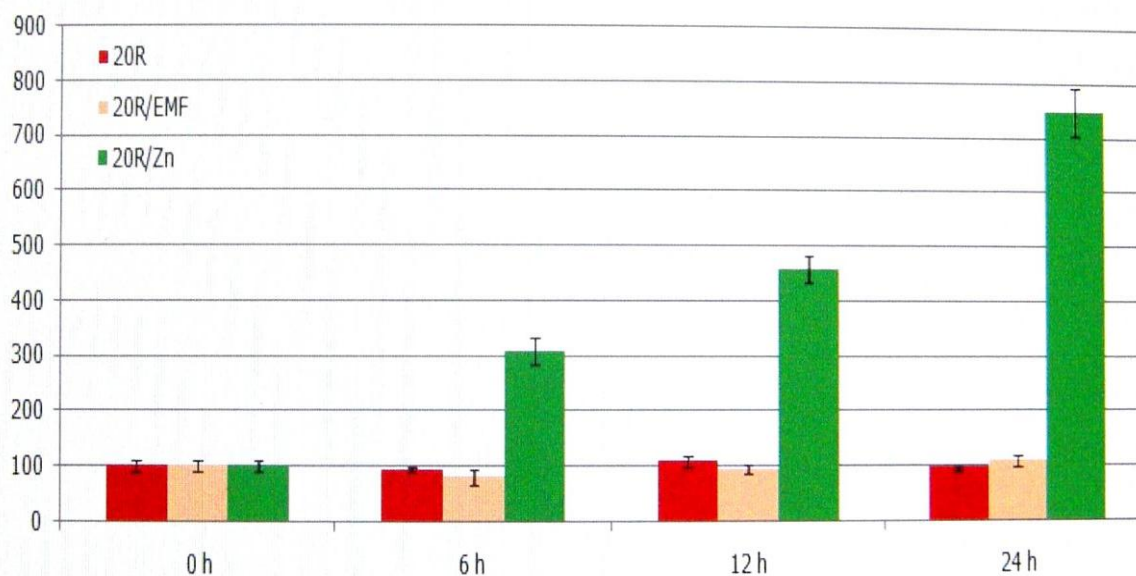
Literatura opisuje kilka możliwych mechanizmów potencjalnego wpływu pola elektromagnetycznego na DNA roślin. Mechanizmy te możemy podzielić na dwie grupy:

- a. bezpośrednią interakcję pola, która może działać np. na DNA poprzez anteny fraktalne (Blank i Goodman, 2011),
- b. oddziaływanie pośrednie, na przykład poprzez wolne rodniki lub szlaki związane z wapniem (Szafrowski i in., 2011; Manzella i wsp., 2015).

Zarówno u zwierząt jak i roślin obserwujemy kilka podobnych mechanizmów regulacyjnych, zwłaszcza w ogólnych reakcjach stresowych na czynniki takie jak szok termiczny lub metale ciężkie (Aksamit i wsp., 2005). Niektórzy naukowcy wskazują, że rośliny, podobnie jak zwierzęta, reagują na pola elektromagnetyczne, zmieniając ich informację genetyczną zawartą w genie na jego produkty - białka (ekspresję genową) (Maffei, 2014). Wpływ pól magnetycznych badano dotychczas tylko u zwierząt lecz nigdy na roślinach.

Dlatego celem tego badania było sprawdzenie, czy zależności te są uniwersalne i pośredniczą w reakcjach na pola elektromagnetyczne w roślinach. W literaturze sugeruje się, że motywem biorącym udział w regulacji ekspresji genu może być sekwencja nCTCTn, nazywana w skrócie EMRE (Electromagnetic Field Response Element).

Aktywność transkrypcyjną badanych promotorów w roślinach zmierzono za pomocą aktywności genu reporterowego GUS - którego aktywność można badać, wykorzystując np. metody fluorymetryczne. Gen ten służy do oceny poziomu ekspresji kontrolowanego przez badaną sekwencję regulatorową w odpowiedzi na przemienne pole magnetyczne 50 Hz. Aktywność GUS w badanych liściach była mierzona w momencie rozpoczęcia eksperymentu (0 h), po 6, 12 i 24 godzinach. Młode liście ziemniaków hodowanych w szklarni cięto (na 4 części) i inkubowano z 100  $\mu$ M cynku (w warunkach silnie indukujących ekspresję badanych promotorów – grupa pozytywna) oraz poddawano działaniu pola magnetycznego 60-70 A/m. Wykres przedstawia wartości średnie oraz przedziały ufności uzyskane z 35 powtórzeń. (Rys.2).



Rys.2. Regulacja ekspresji promotora 20R pod wpływem pola magnetycznego i jonów cynku. Aktywność GUS w badanych liściach była mierzona w momencie rozpoczęcia eksperymentu (0 h), po 6, 12 i 24 godzinach. Młode liście ziemniaków hodowanych w szklarni cięto (na 4 części) i inkubowano z 100  $\mu$ M cynku (w warunkach silnie indukujących ekspresję badanych promotorów – grupa pozytywna) oraz poddawano działaniu pola magnetycznego 60-70 A/m. Wykres przedstawia wartości średnie oraz przedziały ufności uzyskane z 35 powtórzeń

W przebadanych warunkach eksperymentalnych nie zaobserwowano wpływu pola magnetycznego o częstotliwości 50 Hz i natężeniu z przedziału 60-70 A/m na regulację ekspresji promotorów genów badanych białek.

## Literatura

- [7] Sztafrowski Dariusz, Aksamit-Stachurska Anna, Kostyń Kamil, Mackiewicz Paweł, Łukaszewicz Marcin. „Electromagnetic field seems to not influence transcription via CTCT motif in three plant promoters.” *Frontiers in Plant Science* [Dokument elektroniczny]. 2017, vol. 8, art. 178, s. 1-14.

**Punktacja MNiSW z 2018: 40. Lista Filadelfijska. IF. 3.678**

**Rodzaj pracy: artykuł; zasięg międzynarodowy**

## Literatura uzupełniająca

- Aksamit, A., Korobczak, A., Skala, J., Łukaszewicz, M., and Szopa, J. (2005). The 14-3-3 gene expression specificity in response to stress is promoter-dependent. *Plant Cell Physiol.* 46, 1635–1645. doi: 10.1093/pcp/pci179
- Blank, M., and Goodman, R. (2011a). Comments on DNA as a fractal antenna reply. *Int. J. Radiat. Biol.* 87, 1209–1209.
- Blank, M., and Goodman, R. (2011b). DNA is a fractal antenna in electromagnetic fields. *Int. J. Radiat. Biol.* 87, 409–415. doi: 10.3109/09553002.2011.538130
- Maffei, M. E. (2014). Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Front. Plant Sci.* 5:00445. doi: 10.3389/fpls.2014.00445
- Manzella, N., Bracci, M., Ciarapica, V., Staffolani, S., Strafella, E., Rapisarda, V., et al. (2015). Circadian gene expression and extremely low-frequency magnetic fields: an in vitro study. *Bioelectromagnetics* 36, 294–301. doi: 10.1002/bem.21915
- Sztafrowski, D., Wróblewski, Z., Łukaszewicz, M., Sikorski, A., and Majkowski, M. (2011). “Magnetic field 50 Hz: its influence on living cells HL-60,” in *Proceedings of the 2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, eds M. Caciotta and Z. Leonowicz (Rome: IEEE), 1–4.

#### **Omówienie dodatkowego osiągnięcia nr 4**

##### **Zbadanie wpływ biegunów magnetycznych N i S stałego pola magnetycznego na przeżywalność komórek białaczki ludzkiej**

Badania osiągnięć 4 oraz 5 habilitant przeprowadził we współpracy z Laboratorium Biologii Molekularnej i Cytogenetyki przy Katedrze i Klinice Hematologii, Nowotworów Krwi i Transplantacji Szpiku – Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny nr 1 we Wrocławiu.

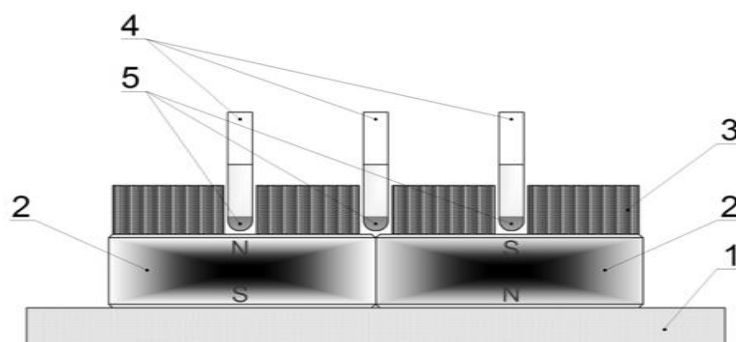
Od wielu lat trwa dyskusja na temat potencjalnej szkodliwości pól elektromagnetycznych na organizm człowieka. Wolnozmiennie pole magnetyczne już przy natężeniach spotykanych w sąsiedztwie niektórych urządzeń przemysłowych (np. zgrzewarki) może powodować metamorfosję, zaniewiedzenie (pozbawienie wzroku w czasie działania pola – od wartości indukcji kilku mT (badania własne) ), ale mogą one również wywierać pozytywne skutki na organizm człowieka, przyczyniając się np. do walki z niektórymi schorzeniami. Pola magnetyczne znajdują, z jednej strony, zastosowania w medycynie do leczenia niektórych chorób (przy leczeniu ran, szybszego zrostu kości, czy leczenia depresji metodą TMS), z drugiej zaś strony - wiele prac naukowych wskazuje na ich negatywny wpływ na organizm człowieka. W skrajnych przypadkach przy bardzo wysokich wartościach natężenia mogą one doprowadzić do śmierci organizmu żywego poddanego jego działaniu.

Pomiędzy tak skrajnymi przypadkami oddziaływań tych pól istnieje ogromna ilość sytuacji, w których ze względów zawodowych, zdrowotnych i innych należy rozstrzygnąć problem poziomów bezpiecznej ekspozycji na omawiany czynnik fizyczny. Z tego powodu ustawodawcy w większości krajów wprowadzają przepisy mające na celu ograniczenie ekspozycji ludzi na działanie tych pól. Jednocześnie należy zwrócić uwagę na to, że coraz więcej krajów zaostrza przepisy związane z ekspozycją na pola ELF (Extremely Low Frequency), pomimo iż obowiązujące dotychczas przepisy powstały na podstawie zaleceń sformułowanych przez specjalizujące się w tej dziedzinie nauki instytucje międzynarodowe, zajmujące się zagadnieniami ochrony przed promieniowaniem, takie jak: Międzynarodowe Towarzystwo Ochrony przed Promieniowaniem (IRPA), Międzynarodowa Komisja Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym (ICNIRP) oraz Europejski Komitet Normalizacji Elektrotechnicznej (CENELEC). Taki stan rzeczy ujawnia znikomą wiedzę jaką dysponujemy w tym zakresie nauki. Dlatego nadal trwają intensywne prace badawcze mające na celu identyfikację wpływu tego typu czynników fizycznych na organizm człowieka. Jednocześnie wyniki przeprowadzonych dotychczas badań dotyczących interakcji pól elektromagnetycznych z materią ożywioną Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC - International Agency for Research of Cancer) zakwalifikowała stałe pola magnetyczne oraz elektryczne jako czynniki nie rakotwórcze. Jednocześnie ta sama Agencja zakwalifikowała pola wolnozmiennie pod względem kancerogennym w następujący sposób: pola elektryczne 50/60Hz uznała jako czynnik niemożliwy do klasyfikacji jako rakotwórczy dla człowieka i zaliczono go do grupy 3, natomiast pola magnetyczne 50/60 Hz są przypuszczalnym czynnikiem rakotwórczym który zaliczyli do grupy 2B, w której istnieją ograniczone dowody epidemiologiczne oraz z badań na zwierzętach na ich kancerogeny charakter. Zagadnienie wpływu stałego pola magnetycznego SMF (Static Magnetic Field) na komórki nowotworowe jest ważne ze względu na powszechne występowanie tego czynnika fizycznego w diagnostyce medycznej np. przy stosowaniu Magnetic Resonance Imaging (MRI).

Z tego powodu habilitant nawiązał współpracę z Katedrą i Kliniką Hematologii, Nowotworów Krwi i Transplantacji Szpiku na Uniwersytecie Medycznym we Wrocławiu w celu wykonania oceny wpływu poszczególnych biegunów N oraz S stałego pola magnetycznego SMF

na zdolność rozmnażania się komórek HL-60. **Habilitant postawił sobie za cel zbadanie, czy oddziaływanie pól o takich wartościach ma wpływ na przebieg procesów nowotworowych u ludzi poddanych jego działaniu a tym samym czy bezpieczna jest ekspozycja takich pacjentów na tego rodzaju pola magnetyczne.**

Ekspozycja materiału biologicznego polegała na umieszczeniu komórek w stałym polu magnetycznym o indukcji 0,5 T. Stanowisko zaprojektowano w ten sposób, że w grupie badanej znajdowały się trzy próbki. Pierwsza próbka poddawana była wpływowi bieguna pola magnetycznego N, druga podlegała wpływowi pola magnetycznego pomiędzy biegunami N i S, trzecia próbka ekspozycja była w biegunie S (Rys1). Ekspozycja na działanie pola magnetycznego wynosiła 72 godziny. Równolegle była prowadzona hodowla komórek odizolowanych od działania pola magnetycznego, która stanowiła grupę kontrolną.



Rys.1. Stanowisko do ekspozycji komórek HL-60 zastosowane w eksperymencie. Na podstawie oznaczonej nr 1 umieszczono dwa magnesy neodymowe 2, na których umieszczono próbki 4, w których znajdowały się komórki HL-60 oznaczone nr 5 utrzymywane w stelażu nr 3

Habilitant dokonał oceny wpływu poszczególnych biegunów N oraz S stałego pola magnetycznego na wzrost poziomu apoptozy w komórkach białaczki ludzkiej HL-60. Przeprowadzone analizy z badań obserwacji poziomu apoptozy dla poszczególnych grup poddanych działaniu pola magnetycznego N oraz S nie wykazały statystycznie istotnych różnic pomiędzy grupą kontrolną a grupami badanymi. Wyniki z przeprowadzonych doświadczeń wskazują na celowość przeprowadzenia i rozszerzenia zakresu ekspozycyjnego z rozwinięciem badań o kolejne wyższe wartości stałych pól magnetycznych do wartości powyżej wartości indukcji magnetycznej pola SMF takich, na jakie narażeni są ludzie ekspozowani podczas obrazowania w nowo wprowadzonych do użycia aparatach rezonansu magnetycznego.

**W przeprowadzonych badaniach habilitant wykazał brak wpływu stałego pola magnetycznego o wartości 500 mT na komórki białaczki ludzkiej HL-60. Pola o podobnych wartościach indukcji występują powszechnie w wielu aparatach obrazowania MRI.**

- [8] **Szafrowski Dariusz, Kuliczkowski Kazimierz, Jaźwiec Bożena, Gumieła Jacek;**“ Badania wpływu biegunów „N” oraz „S” stałego pola magnetycznego na apoptozę komórek białaczki ludzkiej HL-60”, Przegląd Elektrotechniczny R. 94 NR 12/2018 s. 182-185,  
Adres elektroniczny publikacji: <http://pe.org.pl/articles/2018/1/28.pdf>  
**Punktacja MNiSW z 2018: 14. Lista Filadelfijska**  
Rodzaj pracy: artykuł; zasięg krajowy



## Omówienie dodatkowego osiągnięcia nr 5

### Zbadanie synergicznego wpływ stałego pola magnetycznego i cytostatyków na apoptozę komórek białaczki ludzkiej

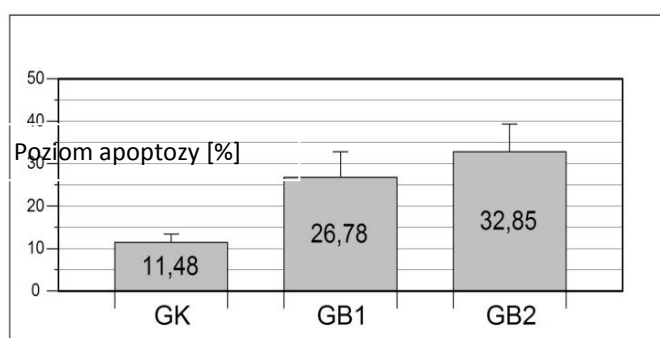
**Co 30 sekund na świecie ktoś dowiaduje się, że ma nowotwór krwi.**

Jak opisano w poprzednim punkcie w przeprowadzonych dotychczas badaniach nie wykazano zwiększenia śmiertelności komórek HL-60 poddanych działaniu stałego pola magnetycznego o indukcji 0,5T. Dlatego też, celem habilitanta było zbadanie, czy narażenie na pola SMF o takiej indukcji wpływa na przebieg procesów nowotworowych u pacjentów leczonych lekami cytostatycznymi. Konkretnym zadaniem było zbadanie synergicznego wpływu pola SMF o indukcji 0,5 T i cytostatyka busulfan na apoptozę komórek ludzkiej białaczki HL-60.

Pacjenci chorujący na białaczkę poddani terapii cytostatykami niejednokrotnie są ekspozowani na tego typu pola podczas badań MRI. Z tego powodu ważnym zagadnieniem naukowym staje się ocena wpływu tego typu pól na komórki HL-60 poddane równocześnie czynnikom chemicznym (taka sytuacja ma miejsce podczas prowadzonej chemioterapii) oraz fizycznym jakim jest pole SMF. Przeprowadzone dotychczas badania w tym zakresie sugerują potencjalnie zwiększenie skuteczności działania niektórych związków chemicznych w walce z nowotworami przy współistnieniu pól SMF.

Dotychczas przeprowadzone badania w tym zakresie mogły być obciążone potencjalnymi błędami np. wpływem temperatury, który mógł mieć istotny wpływ na przebieg eksperymentu. W przypadku gdy do generowania stałego pola magnetycznego wykorzystywano układy cewek przez które płynął prąd nie można wykluczyć lokalnego wpływu tego czynnika fizycznego na przeprowadzony eksperyment. Zaprojektowane przez habilitanta stanowisko badawcze pozbawione jest powyższych problemów.

Uwzględniono wyniki z pięciu serii przeprowadzonych eksperymentów, które zilustrowano na rysunku 1.



Rys.1. Ilustracja poziomu apoptozy mierzonej metodą cytometrii przepływowej pod wpływem pola SMF o wartości 0,5T. Wykres przedstawia wartości średnie oraz przedziały ufności dla grupy kontrolnej GK oraz grup badanych: GB1 poddanej działaniu busulfanu oraz GB2 poddanej jednocześnie działaniu busulfanu i pola SMF

Rysunek ten ilustruje poziom programowalnej śmierci komórki (apoptozy) pod wpływem stałego pola SMF o wartości 0,5T. Wykres przedstawia wartości średnie, kolumna GK odpowiada grupie kontrolnej, a kolumny GB1 oraz GB2 odpowiadają odpowiednio grupom badanych. Wyliczone przedziały ufności dla  $\alpha = 0,05$  zaznaczono pionowymi czarnymi odcinkami.

Analiza wyników obserwacji wykazała wzrost średniej wartości poziomu apoptozy w grupie poddanej działaniu pola SMF i cytostatyku (grupa GB2) o ponad sześć punktów procentowych

co daje wzrost śmiertelności komórek o 18,5% względem grupy niepoddanej działaniu pola SMF (grupa GB1). Otrzymane wyniki wskazują wpływ pola SMF i cytostatyku busulfan na organizmy żywe i potwierdza, że może mieć ono wpływ na procesy wewnątrzkomórkowe.

- **W przeprowadzonych badaniach habilitant wykazał, że celowe jest synergiczne zastosowanie pola SMF w celu zwiększenia skuteczności leczenia busulfanem.**
- **Habilitant wykazał również potrzebę kontynuowania i rozszerzenia zakresu badawczego z rozwinięciem badań o kolejne wyższe wartości pól SMF do wartości jakie wykorzystywane są w najnowszej generacji urządzeń MRI.**
- **Badania te mogą pozwolić na wyjaśnienie mechanizmów oddziaływań stałych pól magnetycznych na organizmy żywe, w tym na organizm człowieka, co może przyczynić się między innymi do oceny reakcji organizmów żywych w funkcji rosnącej indukcji oraz czasu działania stałego pola magnetycznego przy jednoczesnym udziale cytostatyków wyznaczając nowe efektywniejsze procedury leczenia chorób nowotworowych cytostatykami.**

W kontekście terapii nowotworowej addytywne działanie czynnika zewnętrznego (w tym przypadku pola magnetycznego SMF) na aktywność cytostatyków mogłoby mieć w przyszłości bardzo ważne znaczenie terapeutyczne. Dlatego bardzo ważne i konieczne wydaje się wykonanie dalszych badań działania pola SMF pola magnetycznego na skuteczność działania cytostatyków w funkcji zwiększenia wartości indukcji magnetycznej tego pola.

Zaprezentowane przez habilitanta badania wpisują się w najnowsze trendy prowadzonych badań naukowych, które zostały przedstawione w wykładzie Prof. dr hab. Macieja Żylicza Prezesa Zarządu Fundacji na rzecz Nauki Polskiej wygłoszonego na Politechnice Wrocławskiej w 2019 roku.

<https://pwr.edu.pl/uczelnia/interdyscyplinarne-seminarium-naukowe/prof-maciej-zylicz---mikro-ewolucja-komerek-nowotworowych-10.html>

Synergiczne oddziaływanie stałego pola magnetycznego w interakcji z zastosowanymi cytostatykami może mieć w przyszłości bardzo ważne znaczenie w stosowanych terapiach nowotworowych.

W zależności od rozpatrywanego przypadku może pozwolić na zmniejszenie stosowanych dawek cytostatyków, a w innych (np. w przypadku guzów nowotworowych) będzie można uzyskać miejscowy wzrost cytotoksyczności w obrębie występowania zmiany nowotworowej przy zachowaniu dopuszczalnej cytotoksyczności w pozostałej części ciała chorego.

Jest to szczególnie cenne działanie ze względu na to, że wprowadzenie nowego cytostatyku na rynek leków trwa 12-15 lat oraz kosztuje około 1,5 miliarda dolarów. Dlatego tak ważne jest szukanie nowych metod mogących wspomóc działanie już stosowanych leków.

#### Literatura

- [9] Szafrowski Dariusz, Kuliczkowski Kazimierz, Jaźwiec Bożena, Gumiela Jacek ; "Effect of static magnetic field and Busulfan on HL-60 cell apoptosis"  
Przegląd Elektrotechniczny R. 94 NR 1/2018 s. 109-112,  
Punktacja MNiSW z 2018: 14. Lista Filadelfijska

## Omówienie dodatkowego osiągnięcia nr 6

### Zbadanie synergicznego wpływu biegunów N i S statycznego pola magnetycznego oraz antybiotyku na aktywność przeciwgrzybiczną drożdżaków Candida

Wykazanie przez habilitanta przydatności i możliwości praktycznego wykorzystania stałego pola magnetycznego SMF do zwiększenia skuteczności działania cytostatyków w walce z komórkami nowotworowymi otworzyło drogę do opracowania potencjalnie nowych możliwości jego wykorzystania. Habilitant zadał sobie pytanie, czy takie same możliwości podwyższenia skuteczności istnieją w przypadku innych leków wykorzystywanych w medycynie do walki z innymi groźnymi chorobami, które stanowią zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka?

W celu zrealizowania tak sformułowanego przez habilitanta problemu naukowego nawiązał on współpracę z Zakładem Biotransformacji na Uniwersytecie Wrocławskim przedstawiając swoje osiągnięcia w zakresie możliwości zwiększenia wykorzystania pola SMF w walce z komórkami nowotworowymi i proponując współpracę w zakresie przebadania wpływu pól SMF na działanie innych związków chemicznych wykorzystywanych w innego rodzaju terapiach.

Poniżej zaprezentowane są wyniki współpracy nawiązanej przez habilitanta.

Grzyby *Candida albicans* występują naturalnie w organizmie człowieka u 40-80% populacji stanowiąc część mikroflory człowieka. W przypadku stanów obniżonej odporności organizmu człowieka, może dochodzić do rozwoju zakażeń powierzchniowych tzw. kandydoz, dlatego zakażenia te mają charakter oportunistyczny. Bardziej złożonym i niebezpiecznym dla organizmu człowieka jest stadium rozwoju zakażenia zwane kandydemiami krwi oraz kandydozami rozsianymi, które mogą doprowadzić do śmierci zakażonego organizmu człowieka. Śmiertelność w takich przypadkach wynosi od 30 do 100%. Infekcji sprzyja przewlekła antybiotykoterapia, osłabienie odporności, sztuczne zastawki, cewniki, zabiegi inwazyjne etc.

W przypadku kiedy dochodzi do obniżenia odporności organizmu nosiciela tego grzyba, komórki pączkujące *Candida* wytwarzają formy kiełkujące tzw. filamenty. Może wówczas dojść do inwazji grzyba przejawiającej się w infekcji nabłonka oraz penetracji przylegających do niego tkanek.

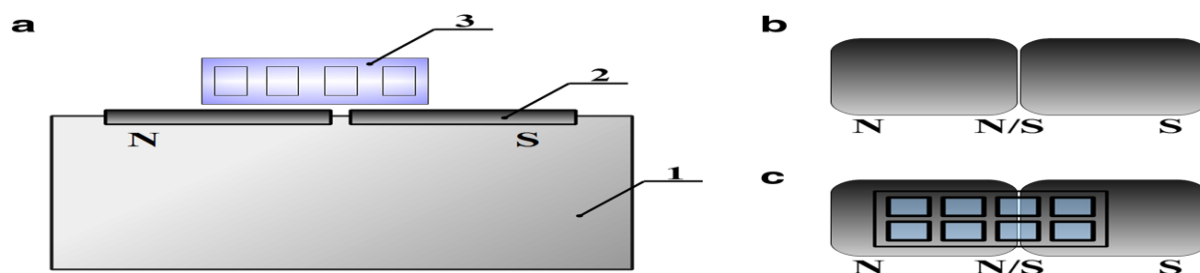
Stosowane leczenie tego typu zakażeń ogranicza się do stosowania antybiotyków azolowych wykazujących statyczny charakter działania oraz antybiotyków polienowych o charakterze zabójczym komórek grzyba poprzez degradację błony komórkowej.

Nabywanie przez *Candida* oporności wielorakiej (MDR – multidrug resistance) na powszechnie stosowane leki azolowe czyni te związki nieskutecznymi w perspektywie długotrwałej terapii. Dodatkowo, leki polienowe wykazują niespecyficzną cytotoksyczność względem komórek zwierzęcych. Tym samym, oprócz poszukiwania nowych związków o właściwościach cytotoksycznych, skierowanych jedynie w komórki grzybów celowe jest prowadzenie badań skupiających się na wspomaganiu terapii istniejącymi już lekami innymi czynnikami fizycznymi takimi jak np. pola SMF.

Z tych względów celem prowadzonych badań było określenie wpływu statycznego pola magnetycznego (SMF) na wrażliwość patogennych zakażeń grzybiczych *Candida* i aktywność przeciwgrzybiczną antybiotyków.

W tym celu wykonałem stanowisko do ekspozycji materiału biologicznego. Do określenia warunków ekspozycji na pole magnetyczne wykorzystałem miernik pola stałego Metrolab. Schemat zbudowanego stanowiska oraz warunki polowe zilustrowane są na Rysunku 1. Postanowiłem, że badania będą obejmowały trzy grupy badane ekspozowane oddzielnie na

biegun N oraz S pola magnetycznego SMF. Trzecią grupę stanowiły komórki Candida poddane działaniu pola znajdującego się pomiędzy biegunami N oraz S. Pomimo tego iż z technicznego punktu widzenia oddziaływanie poszczególnych biegunów magnetycznych nie powinno różnić się od siebie, habilitant postanowił zbadać czy w rzeczywistości takie oddziaływanie nie różni się między sobą. Z tego powodu zaprojektował układ do ekspozycji na pole SMF, w którym badany materiał biologiczny był ekspozowany na poszczególne bieguny pola magnetycznego N i S oraz obszar, w którym materiał biologiczny był ekspozowany pomiędzy wspomnianymi biegunami. Taki schemat układu podyktowany był nikłą znajomością potencjalnego charakteru oddziaływania poszczególnych biegunów magnetycznych na materię ożywioną.



Rys. 1. Schemat zaprojektowanego i zbudowanego przez habilitanta stanowiska ekspozycyjnego zastosowanego w badaniach wpływu pola SMF na organizmy Candida

W przeprowadzonych badaniach zaobserwowano istotną statystycznie redukcję wzrostu *C. albicans* w obecności antybiotyku amfoterycyny B. Uwrażliwienie komórek *Candida* przez pole magnetyczne SMF na amfoterycynę B ma powtarzalny i istotny statystycznie efekt.

**W kontekście terapii przeciwgrzybiczej addytywne oddziaływanie czynnika zewnętrznego (w tym przypadku pola magnetycznego SMF) na aktywność amfoterycyny B mogło by mieć w przyszłości bardzo ważne znaczenie terapeutyczne. Dlatego bardzo ważne i konieczne wydaje się wykonanie dalszych badań działania pola SMF na skuteczność działania antybiotyków w funkcji zwiększenia wartości indukcji magnetycznej tego pola. Ma to szczególne znaczenie w przypadku kiedy ludzie coraz częściej uodparniają się na antybiotyki, a wprowadzenie nowego antybiotyku na rynek leków to czas od 12-15 lat przy koszcie takiego wprowadzenia powyżej 1 miliarda dolarów.**

#### Literatura

[10] Szafrowski Dariusz, Suchodolski Jakub, Muraszko Jakub, Sigler Karel, Krasowska Anna "The influence of N and S poles of static magnetic field (SMF) on *Candida albicans* hyphal formation and antifungal activity of amphotericin B", *Folia Microbiologica*. 2019, s. 1-8.

Adres elektroniczny publikacji: <https://doi.org/10.1007/s12223-019-00686-3>

**Punktacja MNiSW z 2018: 15. Lista Filadelfijska, IF – 1,311**

**Rodzaj pracy: artykuł; zasięg międzynarodowy**

**E. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych wnioskodawcy, świadczących o istotnej aktywności naukowej habilitanta**

**Poniżej zaprezentowana została wybrana działalność naukowo-badawcza habilitanta, dotycząca działalności naukowej związanej z współczesnymi zagadnieniami bezpieczeństwa elektrycznego dotyczącej problemów ekspozycji organizmów żywych na pola elektromagnetyczne.**

Rozbieżność przepisów oraz zaleceń obowiązujących w różnych krajach oraz następujące w czasie zmiany dopuszczalnych poziomów ekspozycji ludzi na pola elektromagnetyczne świadczą o niedostatecznym poziomie wiedzy odnośnie interakcji tego rodzaju pól z organizmami żywymi.

Ważnym przykładem wspomnianej sytuacji są zmiany przepisów jakie zostały ostatnio dokonane w Polsce odnośnie ekspozycji na pola elektromagnetyczne w zakresie przepisów BHP, które weszły w życie 1 lipca 2016 r. Nowe rozporządzenie nakłada dodatkowe obowiązki na pracodawcę, który posiada na stanowiskach pracy źródła pól-elektromagnetycznych. Zobowiązuje ono pracodawcę w zakresie: badań lekarskich pracowników, czy wprowadzenia programu stosowania środków ochronnych. Wprowadzenie przytoczonego rozporządzenia wiąże się z wdrożeniem do polskiego prawa dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane polami elektromagnetycznymi (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) (Dz. Urz. UE L 179/1 z 29.6.2013) i uchylającej dyrektywę 2004/40/WE. Dyrektywa ta definiuje ochronę przed zagrożeniami elektromagnetycznymi oraz ustala dwie odrębne miary oddziaływania pola-elektromagnetycznego na pracujących (GPO) i obiekty materialne w miejscu pracy (IPN). W związku z powyższym pełne wdrożenie wymagań wspomnianej dyrektywy wymagało wydania dwóch ściśle powiązanych ze sobą rozporządzeń Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Habilitant na zaproszenie przedstawicieli Centralnego Instytutu Ochrony Pracy uczestniczył jako jeden z dwóch przedstawicieli Politechniki Wrocławskiej w pracach związanych z prawidłowym przeprowadzaniem pomiarów jako przedstawiciel Akredytowanego Laboratorium Pomiarów Pól Elektromagnetycznych.

Innym przykładem jest konieczność wprowadzenia w Polsce transmisji danych (sieci komórkowych) 5G wokół której toczy się ożywiona dyskusja na temat ewentualnej zmiany przepisów odnośnie ekspozycji na wyższe wartości energii elektromagnetycznej z zakresu wyższych częstotliwości. Habilitant jako jeden z niewielu naukowców w Polsce uczestniczył w dwóch konferencjach międzynarodowych poświęconych tym ważnym obecnie tematom organizowanych pod patronatem Ministerstwa Cyfryzacji i Ministerstwa Zdrowia pt.: „Pole elektromagnetyczne i przyszłość telekomunikacji. Badania. Monitoring. Doświadczenia krajowe i zagraniczne”, na których były poruszane aktualnie najważniejsze problemy związane z aspektami bezpieczeństwa wprowadzania najnowszych technologii, u których podstaw działania jest energia elektromagnetyczna.

Stale zwiększająca się ilość źródeł emitujących pola i fale elektromagnetyczne w środowisku jak i na stanowiskach pracy świadczy o potrzebie i konieczności prowadzenia badań w tym zakresie wiedzy. Dlatego habilitant prowadzi również współpracę naukową z Polskim Towarzystwem Medycyny Ratunkowej w zakresie tematyki bezpieczeństwa elektrycznego. Prowadzona jest współpraca z zakresu podnoszenia wiedzy dotyczącej bezpiecznego

prowadzenia akcji ratunkowych w sytuacjach, w których ratownicy medyczni mogą być potencjalnie narażeni na bezpośrednie oraz pośrednie działanie prądu elektrycznego. Szczególnie ma to znaczenie przy prowadzeniu takich działań, w których dochodzi do zdarzeń związanych z eksploatacją oraz obsługą urządzeń pracujących na niskim oraz średnim napięciu jak również wszystkich sytuacji, w których mogą występować zagrożenia pośrednie związane z narażeniem na pola oraz promieniowanie elektromagnetyczne.

Jednym z ostatnich bardzo ważnych zagadnień naukowych jakie również realizuje habilitant jest identyfikacja poziomu natężeń pól i fal elektromagnetycznych emitowanych przez samochody elektryczne oraz hybrydowe. Moce przenoszone przez współczesne samochody elektryczne sięgają setek kilowatów, a taki stan rzeczy ma miejsce np. w przypadku samochodu Tesla Model S P100D, którego moc jednostki napędowej wynosi 450 kilowatów! Już pierwsze pomiary wykonane przez habilitanta w przypadku samochodów dysponujących o wiele niższą mocą np. powszechnie występujący w sieci car-sharingu elektryczny Nissan Leaf, wykazały występowanie znacznych wartości pól elektromagnetycznych wewnątrz tego pojazdu.

Przedstawione powyżej przykłady wskazują na ważność i złożoność problemów naukowych podejmowanych przez habilitanta a związanych ze współczesnymi zagadnieniami bezpieczeństwa elektrycznego. Prace te mają swój wkład w podnoszenie świadomości oddziaływań i ewentualnie pojawiających się zagrożeń związanych z pojawiającymi się nowymi technologiami w życiu człowieka. Tym samym mogą mieć one swój wkład w tworzenie przyszłych przepisów środowiskowych oraz BHP związanych z wykorzystaniem pól i fal elektromagnetycznych w życiu człowieka jak również z zastosowaniem elektrotechniki w medycynie.

Poniżej przedstawiono przykładowo kilka najważniejszych zagadnień naukowych opublikowanych przez habilitanta po uzyskaniu stopnia doktora, a w punkcie „WYKAZ INNYCH (NIEWCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA wymienionego w pkt. I) opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora prac naukowych oraz wskaźniki dokonań naukowych” przedstawiono szczegółowe omówienie pozostałych prac naukowych.

### **E.1. Zbadanie wpływu pola magnetycznego 50 Hz na hemodynamikę układu krążenia człowieka**

Wykonane badania dotyczyły oceny wpływu pola magnetycznego o częstotliwości sieciowej na hemodynamikę serca u badanych osób. Habilitant wykonał badania w Pracowni Naukowo-Badawczej Wpływu Pól Magnetycznych, która zlokalizowana jest w Katedrze i Klinice Medycyny Ratunkowej na Uniwersytecie Medycznym we Wrocławiu. Badania przeprowadzone zostały pod kierownictwem Prof. dr hab. Juliusza Jakubaszki.

Habilitant zaprojektował i zintegrował z aparaturą medyczną komorę ekspozycyjną, której zadaniem było generowanie homogenicznej składowej magnetycznej o wartościach jakie rejestruje się wokół pracujących obiektów elektroenergetycznych Rysunek 1.

Badanie polegało na umieszczeniu osoby badanej w komorze ekspozycyjnej generującej przemienne pole magnetyczne 50 Hz z możliwością zmiany jego natężenia w zakresie od 0 - do 60 A/m, przy czym większa wartość odpowiada warunkom dopuszczalnej ekspozycji na składową magnetyczną 50 Hz, określoną w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzenia dotrzymania tych poziomów (Dz. U. nr 192 poz.1883).



Rys.1. Stanowisko badawcze do ekspozycji w jednorodnym polu magnetycznym w trakcie integracji z systemem monitoringu funkcji życiowych człowieka



Rys. 2. Monitor nieinwazyjnego pomiaru rzutu serca USCOM 1A. Widok ekranu podczas prowadzonych badań hemodynamiki serca

W trakcie badania monitorowano parametry życiowe używając monitora funkcji życiowych Lifescope TR BSM-6701K firmy Nihon Kohden. Monitorowanie to uwzględniało: nieinwazyjny pomiar ciśnienia tętniczego krwi, zapisy fali EKG z elektrod na klatce piersiowej pacjenta z rejestracją częstości akcji serca.

W badaniach wykorzystano również nieinwazyjny monitor służący do pomiaru pojemności minutowej serca USCOM 1A Rysunek 2. Zapisuje on i monitoruje hemodynamikę każdego uderzenia serca.

Urządzenie umożliwia nieinwazyjne monitorowanie hemodynamiki serca człowieka poprzez wykorzystanie technologii elektronicznego przetwarzania sygnału ultrasonograficznego oraz analizę dopplerowskiej fali ciągłej – w celu uzyskania wyników pomiarów przepływu sercowego. Pozwala to na wykonywanie pomiarów parametrów hemodynamicznych w czasie rzeczywistym podczas każdego skurczu komór serca. Do określanych w ten sposób parametrów należą: pojemność minutowa serca- CO [l/min], wskaźnik sercowy CI [l/min/m<sup>2</sup>], objętość wyrzutowa SV [ml], wskaźnik objętości wyrzutowej SVi [ml/m<sup>2</sup>], częstość akcji serca HR [liczba uderzeń/min]. W realizowanym zadaniu badawczym mierzono następujące parametry: pojemność minutowa serca CO, wskaźnik sercowy CI, objętość wyrzutową SV (Rys. 3). Parametry te wyznaczano przed i po ekspozycji u osób badanych w przemiennym polu magnetycznym 50 Hz.

Przeprowadzone analizy wyników badań pozwalają na stwierdzenie, że pola magnetyczne 50 Hz o natężeniu odpowiadającym natężeniom pól wytwarzanych przez urządzenia elektroenergetyczne prądu przemiennego 50 Hz wykazały wpływ na zwiększenie pojemności minutowej czyli objętość krwi, jaką serce tłoczy w ciągu jednej minuty do naczyń krwionośnych. Jest to iloczyn częstości skurczów serca (HR) i objętości wyrzutowej (SV). Analizy wyników badań wskazują na potrzebę kontynuowania i rozszerzenia zakresu badawczego z rozwinięciem badań o mechanizmy autoregulacji i ich zmiany pod wpływem przemiennych pól magnetycznych 50 Hz z zakresu różnych wartości. W pierwszej kolejności dotyczyć one powinny przedziału zakresów wartości pól magnetycznych 50 Hz dopuszczonych w ekspozycji zawodowej na terenie Polski. Badania te mogą pozwolić na wyjaśnienie mechanizmów oddziaływań wolnozmiennych pól elektromagnetycznych 50 Hz na organizmy żywe, w tym organizm człowieka.

[11] **Szafrowski Dariusz**, Jakubaszko Juliusz, Wróblewski Zbigniew : Wpływ składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego 50 Hz na zmiany hemodynamiki organizmu człowieka. Przegląd Elektrotechniczny. 2014, R. 90, nr 2, s. 238-241.

**Punktacja MNiSW z 2014: 14.**



## E.2. Pomiarowa identyfikacja emisji pola elektromagnetycznego w samochodach elektrycznych

Coraz bardziej dynamicznie rozwijający się rynek pojazdów elektrycznych powoduje konieczność dostosowania systemów certyfikacji oraz kontroli w zakresie oddziaływania na środowisko zewnętrzne jak również na kierowcę oraz pasażerów takich pojazdów. Zabudowane akumulatory, przekształtniki energoelektroniczne oraz maszyny elektryczne wraz z systemem wzajemnych połączeń mogą być źródłami silnych pól elektromagnetycznych w szerokim zakresie częstotliwości. Konieczne zatem staje się sprawdzenie czy natężenie generowanego pola elektromagnetycznego spełnia obowiązujące normy oraz zbadanie możliwości ich ograniczenia lub odpowiedniego kształtowania w celu zmniejszenia narażenia człowieka.

Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej społeczeństwa pojawiła się potrzeba wytwarzania dóbr i usług przy ograniczeniu zużycia surowców i energii zarówno na etapie wytwarzania dóbr jak również w trakcie ich eksploatacji. Transport kołowy w większości oparty jest na nośniku energii takim jak paliwa płynne. Niestety produkty spalania takich paliw są źródłem toksycznych związków chemicznych, które trafiają bezpośrednio do powietrza atmosferycznego i powodują w ten sposób wiele szkód w środowisku. W celu ograniczenia szkodliwego oddziaływania spalin na środowisko naturalne stosuje się coraz częściej złożone układy oczyszczania spalin takie jak m. in. katalizatory czy filtry cząstek stałych DPF. Współcześnie produkowane pojazdy spełniają coraz bardziej rygorystyczne normy czystości spalin (np. EURO 5, EURO 6). Jednak pomimo stosowania środków zabezpieczających część zanieczyszczeń przedostaje się do środowiska.

W ostatnich latach wraz z rozwojem technologii i związaną z tym poprawą wydajności maszyn elektrycznych oraz źródeł energii coraz popularniejsze stają się samochody o napędzie elektrycznym. Wielu producentów posiada już w swoim portfolio takie pojazdy (m. in. Tesla, Toyota, BMW czy też Nissan).

W trakcie jazdy miejskiej pojazd podlega różnym stanom dynamicznym takim jak przyspieszanie lub hamowanie wynikającymi z warunków ruchu drogowego. Podczas stanu dynamicznego można spodziewać się najwyższych wartości natężenia składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego. Podczas miejskiej jazdy samochodem Nissan Leaf dokonano pomiaru poziomu wartości pól elektromagnetycznych w wybranych punktach w okolicy kokpitu oraz wybranych miejscach przestrzeni kierowcy i pasażerów.

Najwyższe natężenia indukcji magnetycznej zarejestrowano tuż pod kolumną kierownicy. Nieco niższe, ale dosyć wysokie wartości odczytano w punktach znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu koła kierownicy oraz tablicy wskaźników.

**Szafrowski Dariusz**, Gumieła Jacek, Sitnik Lech; „ Pomiarowa identyfikacja emisji pola elektromagnetycznego przez samochody elektryczne”. XXIX SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE PTZE, ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE. Janów Podlaski, 9-12 czerwca 2019 r.  
Rodzaj pracy: referat konferencyjny.

**E.3. Zbadanie synergicznego wpływu przemiennego pola magnetycznego, cytostatyków oraz podwyższonej o 2,5 °C temperatury na apoptozę komórek białaczki ludzkiej HL-60**

Habilitant we współpracy z Katedrą i Kliniką Hematologii, Nowotworów Krwi i Transplantacji Szpiku na Uniwersytecie Medycznym we Wrocławiu przeprowadził również doświadczenia wpływu przemiennego pola magnetycznego oraz cytostatyków na poziom apoptozy komórek HL-60. W wyniku przeprowadzonych doświadczeń uzyskano bardzo obiecujące wyniki które mogą mieć zastosowania w nowoczesnych terapiach leczenia chorób nowotworowych.

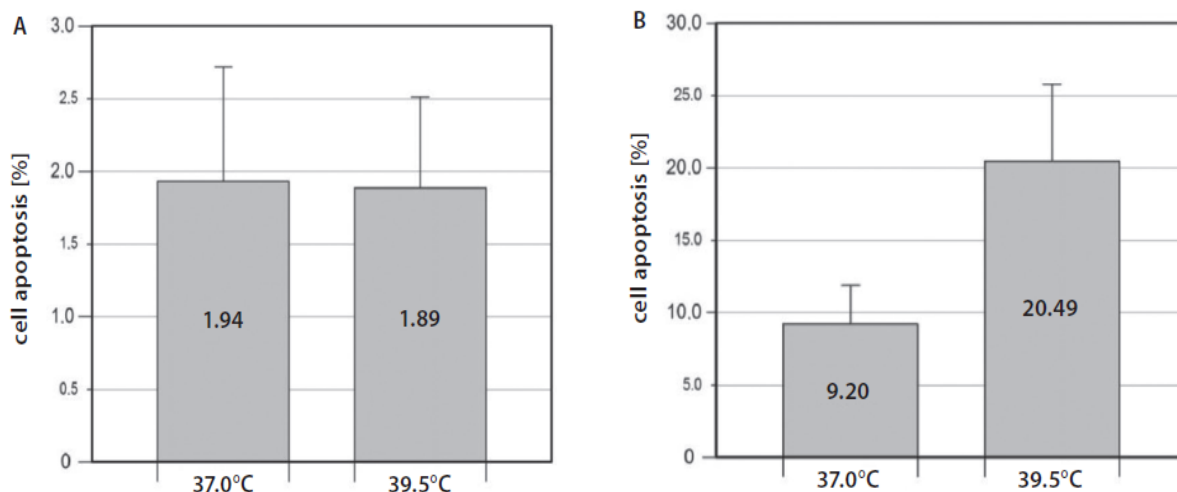
Habilitant zaprojektował i wykonał specjalne stanowisko badawcze do generacji przemiennego pola magnetycznego mogące współpracować z urządzeniem medycznym NUAIRE, w którym prowadzi się hodowle komórkowe w kontrolowanych warunkach. Bardzo interesujące wyniki uzyskano przy działaniu pól przemiennych o wyższych wartościach indukcji i cytostatyków na śmiertelność komórek nowotworowych. Uzyskano w tym przypadku poziom śmiertelności komórek nowotworowych na poziomie nawet 90 %.

Habilitant ustalił, że w tym przypadku na tak spektakularne wyniki mają wpływ trzy czynniki. Poza wpływem pola magnetycznego oraz cytostatyku, trzecim czynnikiem okazał się wzrost temperatury o 2,5 stopnia, który został zidentyfikowany przy użyciu kamery termowizyjnej. Wzrost temperatury pochodził od ciepła wydzielającego się na rdzeniu stanowiska ekspozycyjnego będącego źródłem przemiennego pola magnetycznego. Wobec zaistniałej sytuacji powstała potrzeba wykazania wpływu poszczególnych trzech czynników na poziom śmiertelności komórek nowotworowych.

**W tym celu habilitant zaprojektował badania mające na celu wykazanie udziału każdego z trzech wymienionych czynników osobno. I tak, wpływ podwyższonej o 2.5°C temperatury został opublikowany w artykule pt. "Influence of temperature rise by 2.5°C on the increase of apoptosis of HL-60 cells treated with busulfan [11].** Uzyskane wyniki dodatkowo wniosły wkład w podniesienie poziomu wiedzy w młodej dziedzinie medycyny jaką jest hipertermia. Jest ona jedną z nowych i wciąż słabo znanych metod stosowanych w leczeniu raka. Polega na podwyższeniu temperatury ciała pacjenta w celach terapeutycznych.

**W kolejnym etapie badań , celem habilitanta było zbadanie wpływu wzrostu temperatury o 2,5°C na skuteczność działania cytostatyku busulfanu oraz sprawdzenie czy taki wzrost temperatury ma wpływ na poziom apoptozy linii komórkowej HL-60 niepoddanej działaniu chemioterapii.**

W tym celu wykonano badania na linii komórkowej białaczki ludzkiej HL-60 i zbadano wpływ temperatury na apoptozę HL-60 w dwóch oddzielnych inkubatorach ustawionych odpowiednio na 37,0°C i 39,5°C. Badanie prowadzono przez 3 godziny. Apoptozę oceniano za pomocą cytometrii przepływowej z zastosowaniem Annexyny V Rysunek 1.



Rys. 1. Graficzna ilustracja poziomu apoptozy komórek HL-60 poddanych działaniu podwyższonej temperatury o 2,5°C (A) oraz w obecności cytostatyku busulfan (B) czas ekspozycji - 3-godziny. Na wykresie przedstawiono wartości średnie oraz przedziały ufności

**W analizie uzyskanych wyników habilitant wykazał, że:**

- **Brak jest wpływu wzrostu temperatury o 2,5°C na poziom apoptozy komórek białaczkowej ludzkiej HL-60,**
- **Obserwuje się wpływ wzrostu temperatury o 2,5°C na skuteczności działania cytostatyku busulfan przejawiający się podwyższoną śmiertelnością komórek białaczki ludzkiej HL-60,**
- **Istnieje potrzeba przetestowania skuteczności innych cytostatyków w podwyższonych temperaturach.**

Uzyskane wyniki z zastosowaniem podwyższonej temperatury są bardzo podobne do tych jakie uzyskano w przypadku badań prowadzonych z zastosowaniem pola magnetycznego SMF. Uzyskano wzrost poziomu śmiertelności (apatozy) komórek HL-60 w przypadku zastosowania osobno pola SMF lub podwyższonej temperatury o 2,5°C na podwyższenie skuteczności działania cytostatyku busufan. Jednocześnie nie zaobserwowano wpływu wspomnianych czynników na same komórki białaczki ludzkiej HL-60.

Istnieje potrzeba przebadania skuteczności działania innych środków cytostatycznych w podwyższonych temperaturach, które mogą wpłynąć na określenie nowych, skutecznych procedur leczenia chorób nowotworowych i zastosowania odpowiednich stężeń cytostatyków w zależności od aktualnej temperatury ciała pacjenta.

Habilitant opracował również alternatywną metodę generowania przemiennego pola magnetycznego, która umożliwi ekspozycję w przemiennym polu magnetycznym o podobnych parametrach indukcji lecz bez wzrostu temperatury. Habilitant zbudował prototyp takiego stanowiska badawczego, na którym uzyskano pozytywne wyniki ukazujące indywidualny wpływ tego pola na skuteczność działania cytostatyku busulfan, która ma przełożenie na śmiertelność komórek HL-60. Rozwiązanie to jest w fazie zgłaszania do Urzędu Patentowego w 2019 roku - zgłoszenie patentowe pt. „Urządzenie do elektromagnetycznej ekspozycji materiałów biologicznych i chemicznych”.



Rys. 2. Prototyp stanowiska ekspozycyjnego zintegrowanego z urządzeniem do prowadzenia hodowli komórkowych w kontrolowanych warunkach

W kontekście terapii nowotworowej addytywne działanie czynnika zewnętrznego (w tym przypadku pola magnetycznego SMF) na aktywność cytostatyków mogłoby mieć w przyszłości bardzo ważne znaczenie terapeutyczne. Dlatego bardzo ważne i konieczne wydaje się wykonanie dalszych badań oddziaływania pola SMF oraz przemiennej pola magnetycznego na skuteczność działania cytostatyków w funkcji zwiększenia wartości indukcji magnetycznej tego pola.

**Synergiczne oddziaływanie stałego SMF albo przemiennej pola magnetycznego oraz lokalnego wzrostu temperatury w interakcji z zastosowanymi cytostatykami może mieć w przyszłości bardzo ważne znaczenie w stosowanych terapiach nowotworowych.**

**W zależności od rozpatrywanego przypadku może pozwolić na zmniejszenie stosowanych dawek cytostatyków, a w innych (np. w przypadku guzów nowotworowych) będzie można uzyskać miejscowy wzrost cytotoksyczności w obrębie występowania zmiany nowotworowej przy zachowaniu dopuszczalnej cytotoksyczności w pozostałej części ciała chorego.**

Jak już wspomniałem omawiając osiągnięcie numer 5 jest to szczególnie cenne działanie ze względu na to, że wprowadzenie nowego cytostatyku na rynek leków trwa od 12-15 lat oraz kosztuje około 1,5 miliarda dolarów.

**Dlatego tak ważne jest szukanie nowych metod mogących zintensyfikować działanie już stosowanych leków.**

## Literatura

- [12] Szafrowski Dariusz, Kuliczkowski Kazimierz, Jaźwiec Bożena, "Influence of temperature rise by 2.5°C on the increase of apoptosis of HL-60 cells treated with busulfan", *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, ISSN 1899-5276 (print), ISSN 2451-2680 (online),

Adres elektroniczny publikacji:

<http://www.advances.umed.wroc.pl/ahead-of-print/91821.pdf>

**Punktacja MNiSW z 2018: 15. Lista Filadelfijska, IF – 1,262**

**Rodzaj pracy: artykuł; zasięg międzynarodowy**

*Dariusz Szafrowski*