

**SEBASTIAN RÓŻOWICZ**  
**POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA**  
**WYDZIAŁ ELEKTOTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI**  
**KATEDRA ELEKTROTECHNIKI PRZEMYSŁOWEJ I AUTOMATYKI**

**ZAŁĄCZNIK 3**

**Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych**

## AUTOREFERAT

### 1. Imię i Nazwisko.

Sebastian Różowicz

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- 1.1. **Dyplom magistra inżyniera elektryka**, Politechnika Świętokrzyska, 11 czerwca 2002r.
- 1.2. **Stopień doktora nauk technicznych**. Dziedzina nauki: nauki techniczne. Dyscyplina naukowa: Elektrotechnika. Specjalność: Diagnostyka, Elektrotechnika Pojazdowa. Stopień naukowy uchwałą Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej w dniu 7.11.2012 r. na podstawie rozprawy pt.: „*Analiza wpływu rozwiązań konstrukcyjnych i parametrów układu zapłonowego na wartość energii wyładowania iskrowego*”. Promotor: dr hab. inż. Stanisław Gad - prof. PŚk. Recenzenci: prof. dr hab. inż. Jerzy Tokarzewski, dr hab. inż. Andrzej Kapłon - prof. PŚk, listopad 2012r.
- 1.3. **Studia podyplomowe** w zakresie Zarządzania i Audytu 2014/2015 Wyższa Szkoła Humanistyczno - Ekonomiczna w Brzegu, Wydział Pedagogiczny.
- 1.4. **Uprawnienia budowlane** nr ewidencyjny SWK/0117/PWOE/13 do wykonywania samodzielnej funkcji technicznej w budownictwie w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji i urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych obejmującej **projektowanie i kierowanie robotami budowlanymi bez ograniczeń**, sygnatura akt SK-0054-0026950/12/13, 01 lipca 2013r.

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.

Od 01.10.2004r. do 30.09.2005r. zatrudniony na stanowisku **asystenta** na rok w Samodzielnym Zakładzie Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej.

Od 01.10.2005r. do 30.09.2008r. zatrudniony na stanowisku **asystenta** w Samodzielnym Zakładzie Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej.

Od 01.10.2008r. do 30.09.2012r. zatrudniony na stanowisku **asystenta** w Katedrze Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej.

Od 01.10.2012r. do 31.01.2013r. zatrudniony na stanowisku **specjalista n-t** w Katedrze Energoelektroniki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej.

Od 01.02.2013r. do 23.06.2013r. zatrudniony na stanowisku **asystenta** w Katedrze Energoelektroniki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej.

Od 24.06.2013r. do 29.01.2015r. zatrudniony na stanowisku **adiunkta** w Katedrze Energoelektroniki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej.

Od 30.01.2015r. do 30.06.2018r. zatrudniony na stanowisku **adiunkta** w Katedrze Elektrotechniki Przemysłowej i Automatyki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej.

Od 01.07.2018r. do nadal, zatrudniony na stanowisku **adiunkta** w Katedrze Elektrotechniki Przemysłowej i Automatyki na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej.

**4. Wskazanie osiągnięcia\* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):**

**a) Tytuł osiągnięcia naukowego**

Cykl 9 publikacji powiązanych tematycznie pod wspólną nazwą: *Modelowanie układu zapłonowego niskoprężnych silników spalinowych.*

**b) Publikacje lub inne prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego**

(autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy),

**Cykl złożony z 9 publikacji powiązanych tematycznie:**



[1] **Różowicz S.:** *Modelowanie wybranych zjawisk fizycznych występujących w układzie zapłonowym silników spalinowych o zapłonie iskrowym*, Monografia M112, Seria Elektryka, **Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej**, Kielce 2019, ISSN: 9788- 3637, ISBN: 1897-2691,

[2] **Różowicz S.:** *The effect of different ignition cables on spark plug durability*; **Przegląd Elektrotechniczny**; R94, vol. 4/2018, pp.191-195; doi:10.15199/48.2018.04.43, ISSN 0033-2097.

*Punkty MNISW = 14; Artykuł indeksowany w bazie SCOPUS.*

[3] **Różowicz S.:** *Influence of fuel impurities on the consumption of electrodes in spark plugs*; **Open Physics 2018**; vol. 16, pp.57–62; doi: 10.1515/phys-2018-0011, ISSN 2391-5471.

*Punkty MNISW = 15; IF (2018)=0,755; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.*

[4] Włodarczyk M., Zawadzki A., **Różowicz S.**, *Fractional models of selected combustion engine ignition systems*, **Przegląd Elektrotechniczny**; R92, vol. 4/2016, pp.30-33; doi:10.15199/48.2016.04.08, ISSN 0033-2097. Mój udział w artykule to 40%.

*Punkty MNISW = 14; Artykuł indeksowany w bazie SCOPUS.*

[5] **Różowicz S.**, Tofil Sz.: *The influence of impurities on the operation of selected fuel ignition systems in combustion engines*, **Archives of Electrical Engineering**; vol. 65(2), pp.349-360; doi:10.1515/ae-2016-0026. Mój udział w artykule to 80%.

*Punkty MNISW = 15; Artykuł indeksowany w bazie SCOPUS.*

[6] **Różowicz S.:** *Analiza wpływu zmiany parametrów R,L,C strony pierwotnej układu zapłonowego na wartość energii wyładowania iskrowego*, **Przegląd Elektrotechniczny**; R92, vol. 5/2016, pp.216-220; doi:10.15199/48.2016.05.43 5/2016, ISSN 0033-2097.

*Punkty MNISW = 14; Artykuł indeksowany w bazie SCOPUS.*

[7] **Różowicz S.**, Tofil Sz., Zrak A.: *Ananalysis of the microstructure, macrostructure and microhardness of NiCr-Ir joints produced by laser welding with and without preheat*, **Archives of Metallurgy and Materials**; vol. 61, issue 2B/2016; p.1157-1162, doi: 10.1515-amm-2016-0193, ISSN 1733-3490. Mój udział w artykule to 75%.

*Punkty MNISW = 30; IF (2016)=0,571; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.*

[8] Zawadzki A., **Różowicz S.:** *Application of input-state of the system transformation for linearization of selected electrical circuits* **Journal of Electrical Engineering (Elektrotechnicky Casopis)**; vol. 67/2016, No 3, pp.199-205; doi.org/10.1515/jee-2016-0028 ISSN 1335-3632, On-line ISSN 1339-309X. Mój udział w artykule to 50%.

*Punkty MNISW = 15; IF (2016)=0,483; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.*





[9] Różowicz S.: *Wpływ wybranych parametrów strony pierwotnej układu zapłonowego na ograniczenie poziomu emisji i toksyczności spalin*; **Przegląd Elektrotechniczny**; ISSN, R90, vol. 12/2014, pp. 72-75; doi:10.12915/pe.2014.12.16, ISSN 0033-2097.

*Punkty MNISW = 10; Artykuł indeksowany w bazie SCOPUS.*

**c) omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.**

**c.1. Wprowadzenie uzasadniające cel naukowy prac i ewentualne ich wykorzystanie**

Przedstawiony do oceny dorobek stanowi podsumowanie, prowadzonych przez Autora, badań związanych z modelowaniem układów zapłonowych niskoprężnych silników spalinowych o zapłonie iskrowym. Modelowanie układów i sygnałów jest ważnym i trudnym zagadnieniem stosowanym najczęściej do analizy układów elektrycznych i elektronicznych. Rozważane układy fizyczne zarówno w pojazdach samochodowych, jak i urządzeniach przemysłowych, są z reguły bardzo złożone, dlatego w analizach matematycznych wykorzystywane są modele uproszczone. Jeśli dokładność takiego modelu jest niewystarczająca, wtedy należy zastosować bardziej zaawansowane metody obliczeniowe [1,8]. Wykonane przez Autora badania dotyczą pracy układu zapłonowego. Szczególny nacisk w tych badaniach został położony na analizę wyładowania iskrowego pod kątem wyboru właściwej metody obliczeniowej i zaproponowania modelu matematycznego, który odzwierciedli układ zapłonowy, pracujący w rzeczywistym pojeździe mechanicznym.

Zagadnienia poruszone w opracowaniach własnych, związanych z analizą matematyczną układów zapłonowych silników spalinowych, wpisują się w zakres prowadzonych badań dotyczących diagnostyki i niezawodności pracy silników spalinowych oraz wpływu ich stanu na ochronę środowiska. Obecnie stosowane urządzenia diagnostyczne (analizatory diagnostyczne) nie posiadają możliwości optymalizacji pracy układu zapłonowego dla różnych parametrów poszczególnych elementów. Na podstawie przeprowadzonej analizy literaturowej stanu zagadnienia w zakresie pracy układu zapłonowego, nie stwierdzono prac poświęconych modelowaniu pracy bezrozdzielaczowych układów zapłonowych, z uwzględnieniem zmiany parametrów i ich stopnia zużycia (świeca zapłonowa). Poprzez odpowiedni dobór parametrów układu zapłonowego możemy wpływać na sterowanie inicjacją procesu spalania.



Kształtowanie takie możliwe jest jedynie dla obiektu, dla którego znany jest poprawny model matematyczny. W modelu takim winno być uwzględnione wiele czynników, mających wpływ na wartość energii wyładowania iskrowego, decydującego o przebiegu spalania, wytwarzanego w trakcie każdej z trzech faz jego trwania.

Opracowanie modelu matematycznego układu zapłonowego, zostało zrealizowane w załączonym cyklu publikacji. W pierwszym etapie Autor wniosku dokonał analizy poszczególnych zjawisk fizycznych, które sprawiają duże trudności w przedstawieniu modelu matematycznego, a później w jego rozwiązaniu. Wszystkie metody analizy obwodów liniowych w stanie nieustalonym – a taki tu występuje skutek zwierania i rozwierania przerywacza – opierają się oczywiście o prawa Kirchhoffa i o prawa komutacji. Modelując osobno zjawiska fizyczne, zachodzące w układzie zapłonowym, można uzyskać większą zgodność z wynikami doświadczalnymi.

Głównymi celami naukowymi przedstawionego do oceny powiązanego tematycznie cyklu publikacji [1-9] są:

- modelowanie zjawisk fizycznych, występujących w poszczególnych elementach układu zapłonowego oraz ich weryfikacja z wynikami eksperymentalnymi,
- modelowanie matematyczne układu zapłonowego,
- analiza wrażliwości napięcia inicjującego wyładowanie iskrowe na parametry poszczególnych elementów układu zapłonowego,
- ocena wpływu parametrów układu zapłonowego na przebieg wyładowania iskrowego.

Realizując zamierzone cele do wybranych zjawisk fizycznych występujących w układzie zapłonowym zastosowano rachunek różniczkowy ułamkowego rzędu [1, 4], a w układach z przewodami wysokiego napięcia zastosowano teorię obwodów o parametrach rozłożonych. Uwzględnienie tych czynników pozwoliło dokładniej odwzorować matematycznie przebiegi napięcia i prądu podczas wyładowania iskrowego.

Do realizacji założonych celów naukowych niezbędne było opracowanie modeli matematycznych, umożliwiających analizę stanu technicznego układu zapłonowego i wyznaczanie zakresu zmian jego standardowych parametrów. Bardzo istotnym było przeprowadzenie weryfikacji modelu matematycznego na podstawie badań eksperymentalnych na opracowanym i zbudowanym stanowisku badawczym.

W odróżnieniu od zagadnień rozpatrywanych w rozprawie doktorskiej, badania prowadzone po doktoracie obejmowały problematykę analizy zjawisk fizycznych występujących w układach zapłonowych.





## c.2. Omówienie metodycznych aspektów prac oraz osiągniętych wyników

Przedstawiony zbiór publikacji naukowych, powiązanych tematycznie, obejmuje wyniki badań z zakresu modelowania układów zapłonowych niskoprężnych silników spalinowych. Cykl publikacji [1-9] zawiera różne rozwiązania, dotyczące modelowania i opisu zjawiska wyładowania iskrowego.

W literaturze spotyka się modele symulacyjne klasycznych układów zapłonowych silników z zapłonem iskrowym, lecz niewiele z nich da się adaptować do nowoczesnych układów, które wymagają dużego poziomu dokładności.

Prawidłowe działanie silnika spalinowego uzależnione jest od wielu czynników, między innymi od pracy układu zapłonowego. Do zainicjowania procesu spalania konieczna jest iskra elektryczna. Wytwarzana jest ona za pośrednictwem układu zapłonowego, którego konstrukcja ulega ciągłym zmianom, począwszy od iskiernikowego układu zapłonowego, poprzez układ klasyczny, skończywszy zaś na układach mikroprocesorowych.

W cyklu publikacji powiązanych tematycznie, zaproponowałem modele matematyczne układów zapłonowych, jako systemu rozpatrywanego w całości. Analiza przeprowadzona została przy pomocy wielu metod matematycznych, stosowanych do analizy stanów nieustalonych w obwodach elektrycznych, tj.: metodą klasyczną, operatorową oraz metodą z zastosowaniem zmiennych stanu. Zastosowanie tych metod wymagało dodatkowych założeń wynikających z praw komutacji – głównie sprawa ciągłości prądu w cewce indukcyjnej, co spowodowało pewne różnice w porównaniu z wynikami uzyskanymi na drodze eksperymentu. W związku z tym przeprowadzono oddzielnie modelowanie zjawisk fizycznych, zachodzących w układzie zapłonowym, dzięki czemu uzyskano większą zgodność z wynikami eksperymentalnymi. Nagłe wyłączenie zasilania w obwodzie pierwotnym cewki powoduje skokową zmianę prądu w obwodzie pierwotnym, w związku z tym zjawisko to jest trudne do opisu matematycznego (występuje delta Diraca). Takiego przebiegu nie otrzyma się eksperymentalnie z powodu nieidealnego łącznika. Dobrym rozwiązaniem okazało się zastosowanie rachunku różniczkowego ułamkowego rzędu, które pozwoliło na uwzględnienie pomijanych zjawisk towarzyszących przerwaniu prądu w cewce, poprzez dobór odpowiedniego niecałkowitego rzędu pochodnej i przedstawienie impulsu Diraca w postaci „rozmytej”, co znacznie przybliżyło rozwiązanie do danych eksperymentalnych. Także zastosowanie tego rodzaju pochodnej do sprzężenia magnetycznego, pozwoliło na uwzględnienie strat powstałych przy transformacji napięcia ze strony pierwotnej na wtórną cewki zapłonowej. Przeprowadzone



badania symulacyjne, pozwoliły na ocenę wpływu poszczególnych parametrów układu zapłonowego na parametry wyładowania iskrowego. Wszystkie wyniki uzyskane w symulacjach numerycznych zostały zweryfikowane poprzez liczne badania eksperymentalne na obiektach rzeczywistych.

W publikacji [1] przedstawiono wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych wpływu zmian parametrów poszczególnych elementów układu zapłonowego na wartość energii wyładowania iskrowego. Dla różnych układów zapłonowych zbudowane zostały modele matematyczne, przy pomocy których dokonano weryfikacji wpływu poszczególnych elementów układu na wartość parametrów wyładowania iskrowego. Dane do modelowania pozyskane zostały z przeprowadzonych badań eksperymentalnych na obiektach rzeczywistych oraz na stanowisku badawczym, zbudowanym na potrzeby przeprowadzenia różnych modyfikacji, których nie dało się wykonać na pojazdach samochodowych bez ich uszkodzenia. Rozwiązania matematyczne modeli oraz dane pozyskane z badań pozwoliły na wykonanie symulacji komputerowych w różnych konfiguracjach pracy układu.

W pracy tej omówiono również zjawiska fizyczne, występujące w układach zapłonowych, oraz udowodniono, iż podstawowym zjawiskiem fizycznym, wykorzystywanym w układach zapłonowych jest indukowanie wysokiego napięcia w uzwojeniu wtórnym, poprzez przerwanie prądu płynącego w uzwojeniu pierwotnym cewki zapłonowej. Natomiast jednym z bardzo istotnych zjawisk fizycznych, występujących w cewkach zapłonowych jest sprzężenie magnetyczne, modelowane przez układ zawierający dwie cewki rzeczywiste sprzężone magnetycznie. W publikacjach [1, 6] zaproponowałem zastosowanie równań różniczkowych ułamkowego rzędu do modelowania sprzężenia magnetycznego w cewkach zapłonowych. Taka analiza pozwala na uwzględnienie strat związanych z ferromagnetycznym rdzeniem cewki zapłonowej. W monografii wykazano możliwości opisanie równaniami różniczkowymi niecałkowitego rzędu elementów rzeczywistych.

Zastosowanie pochodnej ułamkowego rzędu ograniczy się tylko do sprzężenia magnetycznego dla układu co daje układ równań w postaci:

$$\begin{cases} u_1 = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} \\ u_2 = M_\alpha \frac{d^\alpha i_1}{dt^\alpha} \end{cases} \quad (1)$$

$M_\alpha$  jest współczynnikiem sprzężenia magnetycznego rzędu  $\alpha$ . O ile  $M$  jest współczynnikiem sprzężeniem magnetycznym dwóch cewek w sensie klasycznym (pierwszego rzędu), tzn. oddziaływanie prądu  $i_2$  w cewce 2 na napięcie w sprzężonej cewce 1, można zapisać jako



$u = M \frac{di_2}{dt}$ , to w przypadku sprzężenia magnetycznego rzędu  $\alpha$  napięcie to będzie wynosiło

$$u = M_\alpha \frac{d^\alpha i_2}{dt^\alpha}.$$

Równania tworzące powyższy układ nie są sprzężone, zatem transformata napięcia  $U_2(s)$  wynosi

$$U_2(s) = \frac{s^\alpha M_\alpha U(1 - e^{-st_0})}{s(R_1 + sL_1)} \quad (2)$$

W wyrażeniu (2) występuje ułamkowa potęga  $s$ , do wyznaczenia transformaty odwrotnej zastosowano metodę CFE (Continued fraction expansion), która wywodzi się z rozwinięcia w ułamek łańcuchowy wyrażenia  $(1+x)^\alpha$  do  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

W myśl tej metody czynnik  $s^\alpha$  można przedstawić jako iloraz wielomianów zmiennej  $s$  i rzędu pochodnej  $\alpha$  - zmienne te występują tu w całkowitych potęgach.

$$s^\alpha \cong \frac{N(s, \alpha)}{D(s, \alpha)} = \frac{\sum_{k=0}^A P_{Ak}(\alpha) s^{A-k}}{\sum_{k=0}^A Q_{Ak}(\alpha) s^{A-k}} \quad (3)$$

gdzie:  $A$  – rząd aproksymacji,  $P_{Ak}(\alpha)$ ,  $Q_{Ak}(\alpha)$  – wielomiany  $\alpha$  rzędu  $A$ .

Zatem, transformata napięcia na wyjściu układu wynosi:

$$U_2(s) = \frac{UM_\alpha N(s, \alpha)(1 - e^{-st_0})}{s(R_1 + sL_1)D(s, \alpha)} \quad (4)$$

a prądu:

$$I_2(s) = \frac{MUN(s, \alpha)D(s, 2\alpha - 1)}{sD(s, \alpha)[sM^2N(s, 2\alpha - 1) - D(s, 2\alpha - 1)(R_1 + sL_1)(sL_2 + Z_2(s) + R_2)]} \quad (5)$$

Kolejnym istotnym elementem układu zapłonowego jest przewód wysokiego napięcia, który zamodelowano obwodem o parametrach rozłożonych. Przeprowadzone badania układów zapłonowych z zastosowaniem trzech różnych typów przewodów zapłonowych wskazują, że typ przewodu wysokiego napięcia ma znaczny wpływ na wartość energii wyładowania iskrowego [2]. Dlatego przewód zapłonowy, można traktować jako linię długą, gdy dla

sygnałów występujących w linii spełniony jest warunek  $l \geq \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4 \cdot f}$ , gdzie:  $\lambda$  – długość

fali,  $f$  - częstotliwość,  $c$  - prędkość światła. Zastosowanie równań linii długiej pozwala uwzględnić opóźnienie w czasie impulsu napięcia, co należałoby uwzględnić w ustawieniach układu zapłonowego.





Pełne informacje o danych parametrycznych obiektu rzeczywistego (układu zapłonowego) pozyskano poprzez pomiar sygnałów symptomowych na stanowisku badawczym. Opracowane i zbudowane stanowisko badawcze do realizacji postawionego celu składa się z rzeczywistego obiektu eksperymentalnego, na którym istnieje możliwość zmian parametrów elementów układu zapłonowego i układu badania energii wyładowania iskrowego cewek zapłonowych z wykorzystaniem testera. Konstrukcja zbudowanego stanowiska (eksperymentalnego) umożliwia pomiar parametrów wyładowania iskrowego przy różnych parametrach elementów układu zapłonowego. Opracowane unikatowe stanowisko na bazie silnika Jolida F190 (o stopniu sprężania 8,3;1) z możliwością wymiany elementów układu zapłonowego (układ sterowania, przewody zapłonowe, cewki, świece) zbudowane jest z pięciu modułów:

- silnika spalinowego typ Jolida F190 wraz z obciążeniem regulowanym;
- panelu kontrolnego silnika współpracującego z zamontowanymi czujnikami tensometrycznymi, który umożliwia kontrolę prędkości obrotowej wału, momentu obrotowego oraz temperatury głowicy;
- panelu sterowania układu zapłonowego, który wyposażono w specjalizowany sterownik, umożliwiający sterowanie różnego typu cewkami wysokiego napięcia zasilanymi napięciem 14V. Istnieje możliwość sterowania momentem zapłonu w zakresie +/- 90° około GMP z dokładnością do 1° oraz czasem ładowania uzwojenia pierwotnego cewki w zakresie 0,5 – 5,0 ms z tym, że maksymalny prąd ładowania ograniczono do 15A;
- układu zapłonowego, który stanowią: cewka zapłonowa o energii wyładowania do 50mJ, przewody zapłonowe o różnych parametrach (długość, rodzaj użytego materiału) oraz świeca o różnych odległościach międzyelektrodowych;
- układu pomiarowego energii wyładowania iskrowego. Pomiar oraz rejestracja napięcia i prądu wyładowania iskrowego odbywa się na stanowisku badawczym za pomocą oscyloskopu Tektronix MSO 4104 z odpowiednim oprzyrządowaniem, tj. sondą napięciową P1015A (zakres pomiarowy od 0 do 40kV oraz sondą prądową TCP0030 o zakresie pomiarowym od 0 do 30A. Zastosowany oscyloskop umożliwia próbkowanie z częstotliwością do 5Gsps.

Natomiast badania rezystancji i pojemności świec zapłonowych dokonano na specjalnie do tego zbudowanym stanowisku badawczym, które umożliwia symulację warunków pracującej świecy w komorze spalania. W pionowej komorze spalania, na trzech poziomach rozmieszczono świece zapłonowe, co wraz z przepustnicą w górnej części komory i kominie wylotowym umożliwiło regulację temperatury, w jakiej odbywa się przeskok iskry pomiędzy elektrodami świecy. Stanowisko to umożliwiło również precyzyjne dawkowanie paliwa oraz



wprowadzanie zanieczyszczenia do paliwa zasilającego. W publikacjach [3, 5, 7] pokazano wyniki badań i przeprowadzoną analizę zużycia elektrod. Testy laboratoryjne wykazały, że wartość wyładowania iskrowego zależy zarówno od jakości paliwa dostarczanego do komory spalania, a także od zużycia elektrod świecy zapłonowej. Można zauważyć, że zużycie elektrod znacząco wpływa na wartość prądu wyładowania. W [1, 5, 7] zamieszczono wyniki, a także analizy pomiarów szczeliny międzyelektrodowej, które wykazują na wzrost odległości pomiędzy elektrodami na każdym kolejnym etapie pomiaru. Wizualna obserwacja powierzchni elektrody również wykazała znaczne zużycie elektrod w środowisku zanieczyszczonym w stosunku do identycznego czasu pracy bez zanieczyszczenia mieszanki paliwowej. Natomiast badania na stanowisku laboratoryjnym pozwoliły na weryfikację symulacji komputerowej. Uzyskane wyniki badań wskazują, że jakość paliwa, jakie dostarczamy do komory spalania znacząco wpływa na zużycia elektrod świecy zapłonowej. Wzrost wielkości szczeliny na świecy powoduje zmianę jej rezystancji i pojemności.

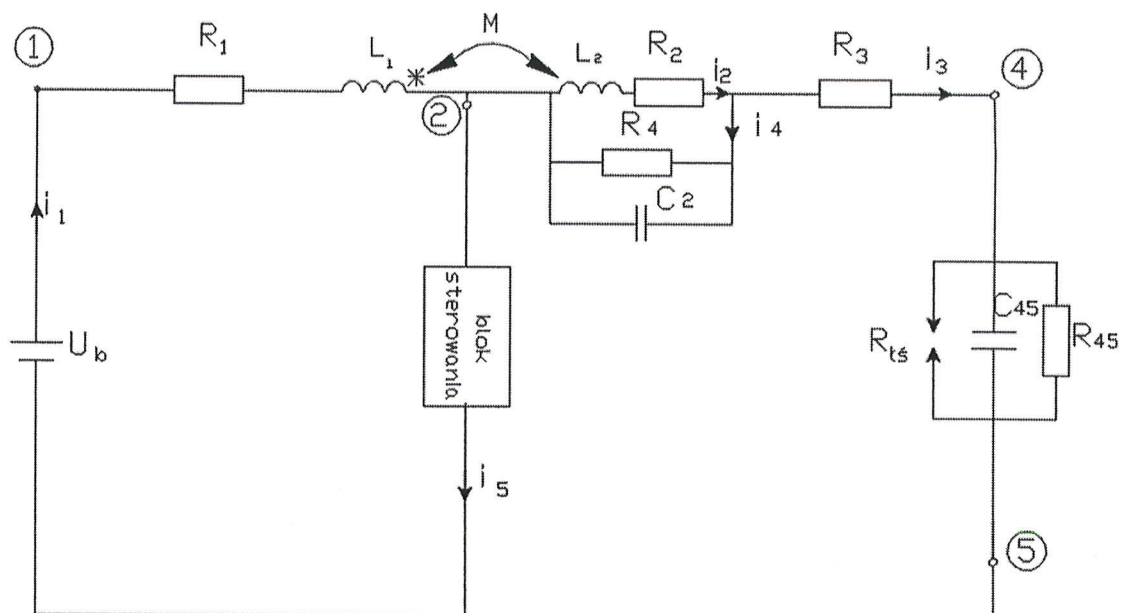
Przeprowadziłem analizę układu zapłonowego przy pomocy wielu metod matematycznych: metodą klasyczną, operatorową oraz metodą z zastosowaniem zmiennych stanu. Najczęściej uważa się, że model jest uproszczoną reprezentacją rzeczywistego obiektu utworzoną w celu zrozumienia określonych jego cech. Równoległe z rozwojem modeli w ślad za doskonaleniem rachunku różniczkowego i całkowego, uzyskuje się narzędzia, pozwalające w sposób wiarygodny opisywać procesy, jakie zachodzą w układzie zapłonowym.

Dla potrzeb konstrukcji modelu matematycznego układu zapłonowego przyjęto następujące założenia upraszczające:

- zastąpiono układ o stałych rozłożonych układem zastępczym o stałych skupionych,
- przyjęto schematy zastępcze cewki zapłonowej oraz świecy zapłonowej,
- przyjęto, że napięcie początkowe wyładowania jest równe napięciu przeskoku na świecy,
- przyjęto, że czas trwania wyładowania uzależniony jest od energii zgromadzonej w cewce.

Na podstawie powyższych założeń opracowano schemat zastępczy układu zapłonowego przedstawiony na rysunku 1.





Rys. 1. Schemat zastępczy układu zapłonowego bezrozdzielaczowego bezstykowego:  $U_b$  - napięcie akumulatora,  $R_1$  - rezystancja uzwojenia pierwotnego cewki,  $L_1$  - indukcyjność uzwojenia pierwotnego cewki,  $L_2$  - indukcyjność uzwojenia wtórnego cewki,  $R_2$  - rezystancja uzwojenia wtórnego cewki zapłonowej,  $R_3$  - ograniczenie zakłóceń radioelektrycznych ( $5k\Omega$ ),  $R_4$  - rezystancja odwzorowująca straty w rdzeniu cewki,  $R_{45}$  - rezystancja upływnościowa świecy,  $R_{t\delta}$  - rezystancja świecy podczas wyładowania,  $C_2$  - pojemność własna cewki,  $C_{45}$  - pojemność własna świecy, Blok sterowania - parametryczny lub generacyjny,  $u_{zs}$  - napięcie zapłonu świecy.

Blok sterowania powoduje przełączanie faz pracy układu zapłonowego. Dla stanu pracy w fazie przewodzenia układ gromadzi energię w uzwojeniu pierwotnym cewki zapłonowej, a w fazie rozwarcia indukuje się wysokie napięcie w obwodzie wtórnym.

Dodatkowo do analizy pracy układu zapłonowego zbudowano model matematyczny, opisany równaniami typowymi dla czwórnika. Do opracowania modelu wykorzystano obliczenia matematyczne, oparte na wprowadzeniu uogólnionych parametrów czwórnika. Pozwoliło to analitycznie powiązać i analizować napięcia i prądy na zaciskach modelu (bez obliczania prądów i napięć wewnątrz samego czwórnika). Zastosowanie czwórnika w analizie obwodu umożliwia zastąpienie całości, lub części układu zapłonowego czwórnikiem, bądź ich połączeniem łańcuchowym, opisanym poprzez dwa równania liniowe. Pozwala to na znaczne uproszczenie analizy układu.

Analizy modelu zapłonowego pod kątem wpływu poszczególnych jego parametrów układowych na napięcie na elektrodach świecy, dokonano na podstawie modelu w postaci

czwórnika, ponieważ w tym modelu występują wszystkie istotne parametry. Połączenie wszystkich wspomnianych modeli zjawisk fizycznych, zachodzących w układzie zapłonowym w jeden model matematyczny jest bardzo trudne ze względu na brak efektywnych metod rozwiązywania układów równań różniczkowych, w którym występują różne rzędy pochodnych w tym rzędy ułamkowe.

Analizując otrzymane wyniki można dojść do wniosku, że zależność napięcia na wyjściu jest wprost proporcjonalna do napięcia baterii  $U_{20}$ . Aby otrzymać zależność tego napięcia od czasu należało wyznaczyć transformatę odwrotną w postaci:

$$u(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{UM}{D(s)} \right\} = \sum_{k=1}^m a_k e^{b_k t} \quad (6)$$

gdzie:

$m$  – liczba biegunów (dla przyjętego modelu w postaci czwórnika  $m=3$ ),

$b_k$  – wartości poszczególnych biegunów ( $D(s)=0$ ),

$a_k$  – wartości współczynników odpowiadającym poszczególnym biegunom,

a więc w tym przypadku, należało określić zależność biegunów  $b_k$  i współczynników  $a_k$  od parametrów układu modelującego układ zapłonowy, co było problemem bardzo złożonym. W tym celu posłużono się pojęciem wrażliwości tego napięcia na zmiany ww. parametrów. Wrażliwość względna obwodu elektrycznego według źródeł literaturowych wyraża się zależnością:

$$s_i^r = \frac{p_i}{u(t)} \frac{\partial u(t)}{\partial p_i}, \quad \frac{\Delta u(t)}{u(t)} = \sum_{i=1}^n s_i^r \frac{\Delta p_i}{p_i}, \quad (7)$$

która obejmuje zmiany wszystkich żądanych parametrów, a więc  $p_i = \{ L_1, L_2, M, R_1, R_2, R_3, C_2 \}$ ,  $n=7$ . Dla rozpatrywanego problemu:

$$\Delta u(t) = \sum_{i=1}^7 \frac{\partial u(t)}{\partial p_i} \Delta p_i. \quad (8)$$

Analizując wartości kolejnych składników zależności (7) można wskazać, które z parametrów mają największy wpływ na wartość napięcia, a w konsekwencji na energię iskry na świecy podczas zapłonu. (Tab.1.).





Tab. 1. Parametry  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $M$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $C_2$  uszeregowane malejąco w zależności od istotności wpływu na wartość napięcia na świecy.

$p_i$	$\Delta u$ [V]
$L_1$	-0,093808344761928
$M$	0,004620245817961
$R_2$	-1,564195504256761e-04
$L_2$	4,216249931582762e-04
$C_2$	2,618994421778891e-04
$R_3$	1,326536204489528e-04
$R_1$	-1,102858668406464e-07

Analizując dane z tabeli 1 można stwierdzić, że największy wpływ na wartość napięcia na świecy, a zatem na energię iskry na świecy mają indukcyjność uzwojenia pierwotnego cewki, a w drugiej kolejności indukcyjność wzajemna uzwojeń cewki. Najmniejszy zaś wpływ na wartość napięcia mają rezystancja przewodów obwodu pierwotnego i uzwojenia wtórnego cewki. Ujemne wartości  $\Delta u$  wskazują, że zwiększenie wartości danego parametru powoduje zmniejszenie badanego napięcia. Analiza wrażliwości rozwiązania metodą zmiennych stanu na zmiany wartości poszczególnych elementów układu okazała się bardzo trudna w realizacji – np. zapis zależności wartości własnych macierzy  $A$  od jednego z parametrów przekraczał objętość 30 stron obliczeń, a to był dopiero wstęp do wyznaczenia  $e^{At}$  w funkcji choćby jednego parametru, na podstawie którego należało jeszcze obliczyć pochodną ze względu na ten parametr.

Wyniki uzyskane powyżej są bardzo istotne, gdyż mogą stanowić wytyczne dla konstruktorów układów zapłonowych, wskazują bowiem, które z parametrów układu mają największy wpływ na wartość napięcia wyładowania iskrowego.

Do realizacji modeli matematycznych wyładowania iskrowego zaimplementowano program w środowisku Matlab. Badania modelowe pozwoliły na ocenę skali wpływu poszczególnych elementów na stopień oddziaływania tych elementów na parametry układu.

Wykorzystując dane eksperymentalne i opracowany model przeprowadzono badania wpływu:

- indukcyjności strony pierwotnej cewki na wartość napięcia na świecy,
- zmian rezystancji strony pierwotnej na wartość wyładowania iskrowego,



- zmian indukcyjności strony wtórnej na wartość wyładowania iskrowego,
- zmian wielkości sprzężenia magnetycznego na wartość wyładowania iskrowego.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań wpływu poszczególnych elementów układu zapłonowego na wartość parametrów wyładowania iskrowego można stwierdzić, że napięcie przeskoku w dużym stopniu zależy od indukcyjności  $L_1$ , współczynnika sprzężenia magnetycznego ( $M$ ) w mniejszym stopniu od  $L_2$  i  $R_1$ .

Oceny stopnia odwzorowania układu zapłonowego przez model matematyczny, dokonano poprzez porównanie wyników badań modelowych z eksperymentalnymi. Miarą dopasowania wyników uzyskanych na obiekcie rzeczywistym do otrzymanych z symulacji komputerowej jest wartość współczynnika determinacji  $R^2$ , który informuje, jaka część zmiennej jest wyjaśniana przez model.

W publikacjach [1-3, 6, 9] przybliżono informację o istniejących rozwiązaniach konstrukcyjnych układów zapłonowych. Szczegółowo omówiono klasyczny rozdzielaczowy układ zapłonowy, układy tranzystorowe oraz tyrystorowe. Zaznaczono, że w klasycznym układzie wartość wysokiego napięcia w istotny sposób zależy od prędkości obrotowej silnika, obciążenia obwodu wtórnego cewki zapłonowej i napięcia zasilania.

W publikacji [2] przedstawiono wpływ różnych typów kabli zapłonowych stosowanych w silnikach spalinowych na zużycie elektrod świec zapłonowych i jakość spalin. Badania i analizy zużycia elektrod przeprowadzono za pomocą modelu matematycznego. Badania układów zapłonowych, przy zastosowaniu trzech różnych typów przewodów zapłonowych wskazują, że typ przewodu wysokiego napięcia ma znaczny wpływ na wartość energii wyładowania iskrowego. Testy laboratoryjne wykazały, że wartość wyładowania iskrowego zależy zarówno od jakości paliwa, dostarczanego do komory spalania, a także od zużycia elektrod świecy zapłonowej. Można zauważyć, że zużycie elektrod znacząco wpływa na wartość prądu wyładowania. Analiza otrzymanych wyników pozwala twierdzić, że można przy użyciu zbudowanego modelu (bez konieczności przeprowadzania eksperymentu) dobierać różne parametry  $R_{45}$  i  $C_{45}$  świecy zapłonowej.

W pracy [3] przedstawiono wyniki badań analitycznych i eksperymentalnych, dotyczących wpływu różnych dodatków paliwowych na jakość wyładowania iskrowego dla różnych konfiguracji układu zapłonowego. Zużycie elektrody świecy zapłonowej i wartość wyładowania iskrowego zostały określone dla różnych zanieczyszczeń i konfiguracji mieszaniny paliwo-powietrznej. Bardzo dobre wyniki w redukcji  $NO_x$  można uzyskać, stosując świece zapłonowe o zwiększonej twardości elektrod za pomocą napawania. Jak pokazują





symulowane badania, najkorzystniejszą mieszanką paliwowo-powietrzną dla silnika o spalaniu wewnętrznym jest mieszanina stechiometryczna ( $\lambda = 1$ ). Wyniki badania wskazują, że energia wyładowania iskrowego po 30 godzinach pracy zmniejszyła się o około 10% w porównaniu ze stanem początkowym.

W artykule [4] wprowadzono element quasiindukcyjny do układu zapłonowego i opisano go za pomocą równania rzędu ułamkowego. Przeanalizowano dwa stany pracy układu (dla ładowania strony pierwotnej oraz stan przekazania energii do świecy zapłonowej) i przeprowadzono ich analizę numeryczną. Analiza pokazuje, że można zastosować systemy ułamkowe do modelowania rzeczywistych procesów fizycznych, zachodzących w sterowaniu układów silników spalinowych z zapłonem iskrowym. Konwencjonalne podejście do analizy, w której systemy elektryczne i ich modelowanie zwykle pomijają skutki wynikające z niedoskonałości elementów (straty), nie zawsze pozwala na takie podejście, w którym można uzyskać wiarygodne modele. Wykorzystanie pochodnych ułamkowego rzędu umożliwia zrekompensovanie pominiętych zjawisk.

W pracy [5] określono wpływ zanieczyszczeń paliwowych na energię wyładowania iskrowego i zużycie elektrody świecy zapłonowej. Świece zapłonowe analizowano w dwóch typowych konfiguracjach układu zapłonowego. Energia wyładowania iskrowego dla nowych i zużytych świec zapłonowych została określona na podstawie obliczeń. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że zużycie elektrod pracujących w zanieczyszczonym środowisku było wyższe, niż w przypadku zasilania silnika czystym paliwem. Odległość między elektrodą centralną i boczną zwiększała się wraz z czasem eksploatacji. W rezultacie na powierzchni elektrod znajdowało się dużo produktów niecałkowitego spalania paliwa, które powstały podczas testów w zanieczyszczonych warunkach. Zmiana szczeliny międzyelektrodowej wraz ze wzrostem zanieczyszczenia izolatora świecy zapłonowej nagarem zmienia jej rezystancję i pojemność ( $R_{45}$  i  $C_{45}$ ), co istotnie wpływa na parametry wyładowania iskrowego.

Laboratoryjne dane eksperymentalne zweryfikowane za pomocą wyników symulacji komputerowych pokazują, że ilość energii, uwalnianej jako wyładowanie iskrowe, zależy w dużej mierze od zużycia elektrod świec zapłonowych, wynikającego z jakości paliwa dostarczanego do silnika. Jak widać, zużycie elektrody świecy zapłonowej ma znaczny wpływ na wartość energii wyładowania iskrowego. Mój udział w artykule szacuję na 80%.

W artykule [6] przedstawiono analizę wpływu zmiany parametrów strony pierwotnej układu zapłonowego na wartość energii wyładowania iskrowego. Przeprowadzono również analizę zakresu zmian wartości energii wyładowania iskrowego dla zmiennych wartości elementów





strony pierwotnej układu. Badania symulacyjne przeprowadzono w autorskim programie, a zweryfikowano eksperymentalnie na stanowisku badawczym bateryjnych układów zapłonowych. Oceny wpływu zmian wartości poszczególnych parametrów strony pierwotnej układu zapłonowego na wartość energii wyładowania iskrowego dokonano przeprowadzając badania symulacyjne oraz na obiekcie rzeczywistym. Dla przedstawionych zakresów zmienności poszczególnych parametrów obliczono wartości energii wyładowania iskrowego. W publikacji udowodniono, iż rezystancja i indukcyjność strony pierwotnej oraz wartość napięcia akumulatora w sposób istotny wpływają na wartość energii wyładowania iskrowego.

Publikacja [7] przedstawia badania mikro i makrostruktury spoiny po wykonaniu laserowego spawania mikrozłącza NiCr-Ir, stosowanych w elektrodach rdzeniowych świec zapłonowych. Spawanie na zimno oraz z wstępnym podgrzaniem było prowadzone w sposób doświadczalny przy użyciu lasera z przyrządem do wstępnego podgrzewania. Mikroskop skaningowy i optyczny pozwoliły obserwować zglądy metalograficzne, wykonanych połączeń. Wykonano analizę rozkładu pierwiastków w obszarze spoiny i dokonano pomiarów mikrotwardości złącza. W opracowaniu przedstawiono podstawowe problemy w różnoimiennych złączach spawanych laserowo z materiałów o istotnych różnicach temperatur topnienia. Na podstawie badań eksperymentalnych impulsowego mikrospawania laserowego na zimno i ze wstępnym podgrzewaniem elektrod świecy zapłonowej, stwierdzono znaczący wpływ niejednorodnej mieszanki paliwowo powietrznej i związanej z nią temperatury pracy świecy zapłonowej na wartość energii wyładowania. Różnorodność materiałów i technologia wykonania elektrod świec zapłonowych mają istotny wpływ na wartości  $R_{45}$  i  $C_{45}$  świecy. Dlatego dla każdego nowego silnika świece zapłonowe dobierane są w sposób indywidualny. Zmieniające się w czasie eksploatacji parametry silnika wpływają na zmianę parametrów wyładowania iskrowego, gdyż na elektrodach w miejscach przeskoku występują mikropęknięcia. Mój udział w artykule szacuję na 75%.

W pracy [8] opisano przekształcenie nieliniowego obwodu elektrycznego w liniowy poprzez zmianę współrzędnych z wykorzystaniem zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego. Przedstawiono niezbędne warunki, które muszą być spełnione przez nieliniowy system, umożliwiające przeprowadzenie procedur linearyzacyjnych. Przebiegi czasowe równań stanu układów nieliniowych oraz odpowiadające im rozwiązania układów zlinearyzowanych są takie same i potwierdzają poprawność otrzymanych matematycznych modeli liniowych układów poddawanych linearyzacji. Jak można zauważyć, linearyzacja rozważanego układu jest kombinacją transformacji układu zmiennych stanu i transformacją wymuszenia. Powyższy przykład pokazuje, że w pewnych przypadkach w celu rozwiązania problemu należy



niejednokrotnie korzystać z połączenia linearyzacji, poprzez transformację zmiennych stanu i transformację wymuszenia z zastosowaniem sprzężenia zwrotnego. Należy w tym miejscu dodać, że układy nieliniowe opisane równaniem danym w postaci kanonicznej są niejednokrotnie modelami matematycznymi wielu układów (obwodów) elektrycznych (n-tego rzędu). Mój udział w artykule szacuję na 50%.

W pracy [9] przedstawiono analizę wpływu stanu naładowania akumulatora, jako parametru strony pierwotnej układu zapłonowego na zawartość toksycznych związków w spalinach. Przeprowadzono również analizę wpływu wybranego parametru układu zapłonowego na wartość energii wyładowania iskrowego. Badania eksperymentalne zawartości toksycznych związków w spalinach przeprowadzono na stanowisku badawczym bateryjnych układów zapłonowych. Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że parametry układu zapłonowego w sposób istotny wpływają na wartość energii wyładowania iskrowego. Energia wyładowania iskrowego zależy od wielu czynników, między innymi od parametrów obwodu pierwotnego układu zapłonowego. Istotny wpływ na wartość energii wyładowania iskrowego ma wartość napięcia akumulatora. Przyszłość konstrukcji samochodowych musi być ściśle powiązana z rozwojem i coraz szerszym stosowaniem techniki mikroprocesorowej do sterowania podstawowymi funkcjami pojazdu. Jej wykorzystanie jest szczególnie ważne w świetle coraz większych wymagań stawianych konstruktorom, odnośnie emisji szkodliwych substancji, zmniejszenia zużycia paliwa oraz poprawy bezpieczeństwa i komfortu jazdy.

### **c.3. Podsumowanie**

Prowadzone prace były ukierunkowane przede wszystkim na opracowaniu modeli matematycznych, które ułatwią projektowanie układów zapłonowych o odpowiednich parametrach. Pozwoli to w konsekwencji na ograniczenie toksyczności spalin i ochronę środowiska naturalnego poprzez sterowanie energią wyładowania iskrowego.

Opracowane metody mogą mieć zastosowanie nie tylko w analizie laboratoryjnej pracy układów zapłonowych, a przede wszystkim w projektowaniu wszelkiego typu układów pracujących z różnymi jednostkami silnikowymi.



**Za najważniejsze osiągnięcia w głównym nurcie badań i eksperymentów autor zalicza:**

1. Opracowanie modeli matematycznych dla różnych układów zapłonowych [1, 6, 8].
2. Modelowanie poszczególnych zjawisk fizycznych występujących w układzie zapłonowym.
3. Zastosowanie do modelowania wybranych zjawisk fizycznych pochodnych ułamkowego rzędu.
4. Zastosowanie różnych metod rozwiązań modeli matematycznych układu zapłonowego.
5. Przeprowadzenie analizy wrażliwości napięcia inicjującego wyładowanie iskrowe na parametry poszczególnych elementów układu zapłonowego.
6. Przeprowadzenie badań laboratoryjnych wpływu stopnia zanieczyszczenia paliwa na kształtowanie się wielkości szczeliny międzyelektrodowej świec zapłonowych oraz na parametry wyładowania iskrowego.
7. Ocenę wpływu energii wyładowania iskrowego na zanieczyszczenie środowiska.

Sądzę, że opracowane modele znajdą wykorzystanie w przemyśle motoryzacyjnym i zwiększą efektywność pracy silników spalinowych.

Uzyskane wyniki pozwalają przypuszczać, że przy dodatkowym uwzględnieniu ciśnienia w komorze spalania, możliwe będzie opracowanie interesujących wniosków, dotyczących jego wpływu na energię wyładowania iskrowego, co będzie przedmiotem dalszych badań.





## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).

Do pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych niewchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w punkcie 4b zestawu publikacji zaliczam wybrane publikacje związane z:

- 5.1. linearyzacją równań nieliniowych do postaci liniowej,
- 5.2. diagnostyką w pojazdach samochodowych,
- 5.3. odnawialnymi źródłami energii,
- 5.4. techniką świetlną.

### Ad. 5.1.

1. **Różowicz S., Zawadzki A:** *Input-output transformation using the feedback of nonlinear electrical circuits. Algorithms and linearization examples. Mathematical Problems in Engineering*; vol. 2018 (1-4), Article ID 9405256, 13 pages, 2018, ISSN 1024-123X; doi: 10.1155/2018/9405256, **IF 1,145, 20 pkt.**

*Punkty MNISW = 20; IF (2018)=1,145; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.*

W pracy przedstawione zostały algorytmy linearyzacji wejście-wyjście nieliniowego równania stanu układu. Algorytmy opracowano z wykorzystaniem elementów teorii geometrii różniczkowej, dzięki którym skonstruowano transformacje linearyzujące. Przedstawiono warunki, jakie musi spełniać układ nieliniowy, aby możliwe było przeprowadzenie zabiegów linearyzujących. Omówiono etapy postępowania przy linearyzacji wejście-wyjście poprzez transformację przestrzeni stanu (nazywaną transformacją bezpośrednią) oraz z zastosowaniem wprowadzonego do układu sprzężenia zwrotnego. Skuteczność działania oraz praktyczne zastosowanie opracowanych algorytmów wykazano poprzez przedstawione przykłady. W pracy wykazano, że zastosowanie algorytmów do modeli matematycznych układów nieliniowych pozwala na otrzymanie prostych postaci modeli układów zlinearyzowanych. Dzięki temu możemy analizować zlinearyzowane modele, stosując metody znane z teorii układów liniowych, a następnie korzystając z transformacji odwrotnej  $S^{-1}(z)$  przenieść rezultaty na układ nieliniowy. Należy również stwierdzić, że odpowiednie spełnienie warunku twierdzenia przedstawionego w pracy [2] determinuje poszukiwanie transformacji bezpośrednio linearyzującej badany układ, bądź transformacji z zastosowaniem sprzężenia zwrotnego. Mój udział w artykule szacuję na 50%.



**2. Różowicz S., Zawadzki A:** *The use of differential geometry methods for linearization of nonlinear electrical circuits with multiple-inputs and multiple-outputs (MIMO)*, **Electrical Engineering**; vol.100(4), 2018, pp.2815-2824; doi: 10.1007/s00202-018-0746-0, ISSN 0948-7921.

*Punkty MNISW = 15; IF (2018)=1,269; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.*

W pracy zaprezentowana została transformacja nieliniowego obwodu elektrycznego MIMO na obwód liniowy poprzez zmianę współrzędnych (lokalny dyfeomorfizm) z wykorzystaniem zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego. Przedstawione zostały również niezbędne warunki, które muszą być spełnione przez nieliniowy system, umożliwiające przeprowadzenie procedur linearyzacyjnych. Uwzględniono numeryczne rozwiązania równań stanu dla układu nieliniowego i równoważnego zlinearyzowanego układu. Układ nieliniowy o wielu wejściach i wielu wyjściach można dekomponować za pomocą statycznego sprzężenia zwrotnego jedynie w przypadku, gdy prezentowana w pracy macierz  $\mathbf{E}(\mathbf{x})$  jest nieosobliwa. Nieosobliwość tej macierzy jest zatem warunkiem koniecznym istnienia rozwiązania problemu. Jednakże, przy wyborze różnych funkcji wyjścia badanego układu często się zdarza, że w przypadku poszukiwania regularnego sprzężenia zwrotnego macierz odsprzęgająca jest osobliwa. Wówczas w celu rozwiązania problemu pozostaje zastosowanie dynamicznego sprzężenia zwrotnego. Mój udział w artykule szacuję na 50%.

**3. Zawadzki A., Różowicz S.:** *Application of input - state of the system transformation for linearization of some nonlinear generators*, **International Journal of Control, Automation and Systems**; vol. 13/2015 No.3, pp.1-8; doi 10.1007/s12555-014-0026-3, ISSN:1598-6446 eISSN:2005-4092.

*Punkty MNISW = 20; IF (2015)=1,219; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.*

Praca przedstawia zastosowanie transformacji wejściowej, czyli stan systemu, podstawy elementów teorii geometrii różniczkowej, pozwalające na linearyzację równań nieliniowych do postaci liniowej. Rozwiązania numeryczne nieliniowych układów równań stanu oraz odpowiednie rozwiązania zlinearyzowanych systemów są takie same i potwierdzają poprawność modeli matematycznych przedstawionych systemów liniowych do linearyzacji. Proste modele liniowe okazują się bardzo przydatne w rozwiązywaniu różnych problemów praktycznych w nauce i technologii. Powyższy przykład pokazuje, że zmiana współrzędnych





znacząco wpływa na nieliniowy układ sterowania. Podsumowując, można stwierdzić, że podejście do linearyzacji w proponowanej metodzie daje taki sam wynik, jak metoda oparta na rozwiązaniu pierwszego rzędu równania różniczkowego. Mój udział w artykule szacuję na 50%.

#### **Ad. 5.2.**

- 1. Różowicz S.:** *Model matematyczny układu zapłonowego do analizy wpływu wybranych parametrów strony pierwotnej na wartość energii wyładowania iskrowego w pojazdach samochodowych*, Logistyka 3/2014 s.5467-5476,  
*Punkty MNiSW= 10 Artykuł indeksowany w bazie SCOPUS.*

W artykule przedstawiono model bateryjnego układu zapłonowego współpracującego z silnikami spalinowymi. Zbudowany model wykorzystano do analizy wpływu zmiany napięcia zasilania akumulatora na wartości wyładowania iskrowego. Do opracowania modelu wykorzystano wyniki badań laboratoryjnych oraz eksploatacyjnych (na obiekcie rzeczywistym). Badania eksperymentalne przeprowadzono na różnych typach bateryjnych układów zapłonowych. Dokonano porównania i weryfikacji wyników zdjętych z obiektów rzeczywistych z wynikami otrzymanymi z symulacji komputerowych. Zmiana napięcia zasilania nie ma istotnego wpływu na wartość napięcia przeskoku, które określone jest wzorem Paschena. Uzyskane wyniki badań świadczą o niewielkich wahaniach napięcia przeskoku uzależnionych od warunków środowiskowych. Napięcie zasilania ma natomiast istotny wpływ na wartość napięcia indukowanego w cewce zapłonowej.

- 2. Różowicz S.:** *Metody diagnozowania elementów układu zapłonowego*, Logistyka 4/2014 s.1118-1124.  
*Punkty MNiSW= 10 Artykuł indeksowany w bazie SCOPUS.*

W pracy przedstawiono krótką charakterystykę metod diagnozowania bateryjnych układów zapłonowych, współpracujących z silnikami spalinowymi. Samochody zbudowane są w oparciu o wiele mechanizmów i układów ze sobą współpracujących. Poszczególne obwody znajdujące się w pojeździe samochodowym są mniej lub bardziej złożone, a więc stopień trudności analizy i diagnostyki ściśle zależy od struktury danego obwodu. W pracy scharakteryzowano elektryczne i elektroniczne układy wyposażenia pojazdu mechanicznego,



jako przykład obiektu diagnostycznego i w oparciu o literaturę, przedstawiono różne rodzaje metod diagnozowania tych układów. Opracowanie metod diagnostycznych, jak również ewentualna naprawa w przypadku detekcji uszkodzenia, nie wynikają tylko z analizy samych uszkodzeń i symptomów, ale ważnym kryterium przy wyborze rozwiązania są koszty. Często okazuje się, że naprawa uszkodzenia może polegać na wymianie podzespołu, którego koszt jest znacznie wyższy, niż koszt całego urządzenia. Wymiana elementów układów elektronicznych i elektrycznych często nie jest możliwa bez użycia drogich specjalistycznych urządzeń i aparatury, które gwarantują poprawną naprawę. W niektórych gałęziach przemysłu postęp jest tak wielki, że przy podejmowaniu decyzji o wymianie podzespołu lub całego urządzenia brane są także korzyści, płynące z zastosowania obiektów o lepszych parametrach. Na przykład w elektronice jest to miniaturyzacja i możliwości obliczeniowe, w mechanice są to moc i energia wyładowania iskrowego w układzie zapłonowym. Dokładność stawianej diagnozy zależy od odpowiedniego doboru poszczególnych parametrów układu w procesie diagnostycznym.

### Ad. 5.3.

1. Goryca Z., Różowicz S., Dąbala K., Krzemień Z.: *Design and tests of generators for micro hydro plants*; SME 2017 Nałęczów, Polska Doi: 10.1109/ISEM.2017.7993536.

Artykuł indeksowany w bazach IEE Explore, SCOPUS.

W pracy przedstawiono projekt, parametry i wybrane wyniki badań przeprowadzonych dla dwóch generatorów zaprojektowanych do pracy z małą turbiną wodną. Oba generatory używają tego samego stojana. Pierwszy generator ma zewnętrzny wirnik w postaci stalowej rury z przyklejonymi magnesami segmentowymi. W drugim generatorze magnesy są umieszczone wewnątrz wirnika, który składa się z płytek. Stator generatora ma 36 żłobków z trójfazowym ośmiobiegunowym uzwojeniem. Aby zminimalizować moment zaczepowy, w pierwszym rotorze zastosowano skos trzech magnesów umieszczonych na powierzchni. Drugi wirnik jest podzielony na 6 segmentów skręconych względem siebie o 2 stopnie. Obudowy i łożyska tarczy standardowego silnika trójfazowego są używane do budowy generatorów. W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań, w tym wpływ prędkości obrotowej na napięcia wejściowe, wpływ prądu obciążenia na napięcia wyjściowe, pomiary momentu zaczepowego oraz wyniki rozgrzewania generatora. Przedstawiono hydrogenerator przeznaczony dla mikrohydroenergetyki. Mój udział w artykule szacuję na 25%.



**2. Różowicz S., Goryca Z., Peczkis G., Korczak A.:** *Pico hydro generator as an effective source of renewable energy*, 2019 -artykuł został przyjęty do publikacji w czasopiśmie *Przegląd Elektrotechniczny*  
*Artykuł indeksowany w bazach IEE Explore, SCOPUS.*

W pracy przedstawiono budowę generatora piko-wodnego o mocy 1kW, który składa się z osiowej turbiny wodnej i generatora. Wirnik osiowej turbiny wodnej został opracowany przy użyciu aerodynamicznego profilu NACA. W pracy opisano konstrukcję pionowej turbiny, osiowej i stanowisko laboratoryjne do pomiaru opracowanej i skonstruowanej turbiny napędzającej trójfazowy generator elektryczny. Przedstawiono podstawowe cechy turbiny dla najwyższych parametrów wydajnościowych i charakterystyki generatora.

Testy wykazały, że jeśli turbina Pico o średnicy wirnika  $d = 228$  mm jest precyzyjnie wytwarzana i montowana oraz stosowane są odpowiednie łożyska, to jej sprawność może być taka sama, jak obliczona ze wzoru  $\sigma_{cav} = f(n_s)$ . W rezultacie nie jest obciążona dodatkowymi stratami spowodowanymi efektem skalowania. Dzięki zastosowaniu algorytmu do obliczeń hydraulicznych i strukturalnych osiągnięto dobrą zgodność parametrów pracy turbiny zakładanych do obliczeń z uzyskanymi empirycznie. Generator omówiony w artykule przeznaczony jest do współpracy z małą turbiną wodną. Mój udział w artykule szacuję na 25%.

#### **Ad. 5.4.**

**1. Różowicz S., Deląg M.:** *Wpływ warunków otoczenia na współczynnik tętnienia niskociśnieniowych lamp wyladowczych typu T5*, *Logistyka* 6/2014 s. 3057-3062  
*Punkty MNiSW= 10 Artykuł indeksowany w bazie SCOPUS.*

W artykule przedstawiono wpływ otoczenia na parametry świetlne reflektorów samochodowych. W szczególności zwrócono uwagę na zmianę strumienia świetlnego oraz temperatury barwowej w zależności od temperatury otoczenia. Badania odniesiono do dostępnych obecnie na rynku żarówek H4 oraz H7. Analizę przeprowadzono na fabrycznym reflektorze montowanym w samochodzie Opel Vectra, rocznik 2009.

Przedstawione wyliczenia wykazują, że warunki środowiskowe w miejscu eksploatacji pojazdu, wpływają w sposób istotny na parametry świetlne światła generowanego przez żarówki, pracujące w obecnie dostępnych reflektorach samochodowych. Badania i regulacje eksploatacyjne nie uwzględniają wpływu zmian temperatury otoczenia na jakość





generowanego przez reflektory światła. Szczególnie istotny jest spadek strumienia świetlnego powodowany przez wzrost temperatury otoczenia. Przeprowadzone badania wskazują, iż w przypadku reflektorów oświetlanych za pomocą żarówek H4 oraz H7 stabilność strumienia świetlnego może być niewystarczająca. W konsekwencji może to znaleźć niekorzystne przełożenie na poziom bezpieczeństwa na drogach publicznych. Mój udział w artykule szacuję na 50%.

**2. Różowicz S., Szczepaniak J.:** *Sposoby iluminacji obiektów zabytkowych*, Logistyka 6/2014 s. 9162-9166, ISSN 1231-5478.

*Punkty MNiSW= 10 Artykuł indeksowany w bazie SCOPUS.*

W pracy [2] przedstawiono zagadnienia dotyczące iluminacji obiektów. Wskazano elementy, które powinno się wyeksponować podczas ustawiania naświetlaczy. Jako przykład przedstawiono sposób iluminacji kościoła Świętego Krzyża, dla którego opracowano model przestrzenny i pokazano sposoby jego iluminacji. Wyniki zostały ukazane za pomocą zapisu graficznego, zaś uzyskane efekty nocnej iluminacji zaprezentowano za pomocą wizualizacji komputerowej. Dzięki programowi komputerowemu mamy możliwość, przeprowadzenia symulacji emisji światła z opraw oświetleniowych i jego oddziaływania z powierzchniami rzeczywistymi, po uprzednim nastawieniu parametrów renderingu. Uzyskane efekty są niemal identyczne z rzeczywistymi. Wizualizacja komputerowa wymaga od projektanta wiedzy nie tylko w zakresie techniki świetlnej, lecz także z zakresu modelowania i podstaw architektury. Iluminacja potrafi wykreować niecodzienny wygląd danej okolicy. Sprzyja także orientacji przestrzennej w dużych aglomeracjach, ułatwiając znalezienie się w nowym miejscu, poprzez rozświetlenie charakterystycznych i łatwo rozpoznawalnych w porze nocnej punktów odniesienia widocznych z daleka. Mój udział w artykule szacuję na 50%.



## 6. Podsumowanie

Mój dotychczasowy dorobek naukowy po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych obejmuje 48 publikacji, w tym 17 samodzielnych. W czasopismach z listy Journal Citation Report zostało opublikowanych 9 artykułów, w tym 3 samodzielnie. 24 prace zostały opublikowane w renomowanych czasopismach takich jak: Przegląd Elektrotechniczny, Prace Szkoły Inżynierii Materiałowej, Logistyka, Prace Instytutu Elektrotechniki, Technika Transportu Szynowego. Pozostałe publikacje ukazały się w materiałach konferencyjnych z recenzowanymi artykułami, takich jak: International Symposium on Theoretical Electrical Engineering (ISTET), Międzynarodowe Sympozjum Maszyn Elektrycznych (SME), Konferencja Naukowa Wybrane Zagadnienia Elektrotechniki i Elektroniki (WZEE), Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE), Międzynarodowa Konferencja Obliczeniowe Problemy Elektrotechniki (CPEE), Międzynarodowe Sympozjum na temat maszyn elektrycznych (MŚP), Konferencja na temat elektrotechniki: procesy, modele, sterowanie i informatyka (EPMCCS).

Baza **Web of Science** Core Collection indeksuje 12 publikacji, które są cytowane 19 razy; **Index H jest równy 2**. Baza **Scopus** indeksuje 18 publikacji, które są cytowane 39 razy; **Index H jest równy 2**. Baza **Google Scholar** indeksuje 43 publikacji, które są cytowane 40 razy; **Index H jest równy 3**, natomiast **Publish or Perish** indeksuje 45 publikacji, które są cytowane 372 razy; **Index H jest równy 5**.

Sumaryczna liczba przyznawanych punktów na rok publikacji określonych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego wynosi 397 pkt. (10-02-2019).

Sumaryczny Impact Factor dla publikacji w czasopismach z listy JCR zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 5,442.

Moja aktywność w środowisku naukowym jest związana z czynnym uczestnictwem w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych, a także członkostwem w Stowarzyszeniu Elektryków Polskich SEP oddział w Kielcach. Jestem inżynierem badaczem w Laboratorium Elektrotechniki Pojazdowej, wykonującym badania dla przemysłu w ramach laboratorium akredytowanego, a także współautorem uzyskania akredytacji dla laboratorium LEP w Pracowni Nowych Technologii.

Mój udział na rzecz promocji wiedzy obejmował współautorstwo 2 i autorstwo 1 niepublikowanych prac naukowo-badawczych, realizowanych poprzez tzw. prace statutowe



oraz autorstwo pracy naukowo-badawczej realizowanej poprzez badania własne, których wyniki badań przedstawione zostały w czasopismach naukowych i w materiałach konferencyjnych.

Jako wykonawca aktywnie uczestniczyłem w wieloletnim projekcie badawczym. Poza uczestnictwem w projekcie Autor złożył wniosek o dofinansowanie projektu PROGRAM STAŻOWY Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej w ramach konkursu nr 2/SP/POWER/3.1/2015 Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój, Oś priorytetowa: III Szkolnictwo wyższe dla gospodarki i rozwoju jako wsparcie dla studentów Politechniki Świętokrzyskiej oraz przygotował wniosek projektowy w ramach Programu Horyzont 2020, konkursu ERC - STG Starting Grant projektowy pt. „Universal turbine-generator for micro Water” akronim: UTGMW. Wniosek uzyskał 91 pkt. Autor brał udział w projekcie „Politechnika Świętokrzyska – uczelnia na miarę XXI w.” Program Operacyjny Kapitał Ludzki na podstawie umowy z Ministerstwem Nauki i Szkolnictwa Wyższego UDA – POKL.04.01.01-00-381/10-00.

Poza działalnością naukową prowadzę aktywną działalność dydaktyczną, za którą uzyskałem odznaczenia państwowe - Medal Komisji Edukacji Narodowej - 2017 r.

W ramach pracy naukowo badawczej prowadzonej w Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach Autor wniosku został wyróżniony:

- 2010 roku Nagrodą Rektora I stopnia, za wyróżniające osiągnięcia dydaktyczno-organizacyjne;
- 2011 roku Nagrodą Rektora III stopnia, za wybitne osiągnięcia dydaktyczno-organizacyjne;
- 2013 roku Nagrodą Rektora III stopnia, za wybitne osiągnięcia naukowe;
- 2016 roku Nagrodą Rektora III stopnia za złożenie wniosków do Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój;
- 2018 roku Nagrodą Rektora III stopnia za osiągnięcia organizacyjne i naukowo dydaktyczne.

Ponadto, autor otrzymał wyróżnienia i nagrody:

- w grudniu 2017 roku, szczególne wyróżnienie w ramach konkursu Świętokrzyski Racjonalizator za zgłoszony wynalazek *Generator zwłaszcza do mikroelektrowni wodnej*.

- w listopadzie 2017 roku, Nagroda Marszałka Województwa Świętokrzyskiego jako Świętokrzyski Racjonalizator.

- w styczniu 2018 roku, wyróżnienie w konkursie „EUREKA! Dziennik Gazeta Prawna – ODKRYWAMY POLSKIE WYNALAZKI”.



Zestawienie osiągnięć po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych			Razem
Opublikowane prace naukowe			48
Czasopisma	z listy JCR	9	
	międzynarodowe	2	
	krajowe	24	
Materiały konferencyjne	międzynarodowe	8	
	krajowe	5	
Monografie			1
Zgłoszenia patentowe			5
Sumaryczny Impact Factor według listy JCR			5,442
Sumaryczna ilość punktów z publikacji wg MNiSW			<b>397</b>
Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science			19
Indeks Hirscha według bazy Web of Science			<b>2</b>
Liczba cytowań publikacji według bazy Scopus			18
Indeks Hirscha według bazy Scopus			<b>2</b>
Liczba cytowań publikacji według bazy Google Scholar			40
Indeks Hirscha według bazy Google Scholar			<b>3</b>
Liczba cytowań publikacji według Publish or Perish			372
Indeks Hirscha według Publish or Perish			<b>5</b>
Kierowanie lub udział w projektach badawczych	międzynarodowe	1	3
	krajowe	2	
Udział w konferencjach naukowych lub w komitetach organizacyjnych tych konferencji	międzynarodowe	6	11
	krajowe	5	
Udział w konsorcjach i sieciach badawczych			2
Członkostwo w towarzystwach naukowych			3
Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zlecenie			➤300
Udział w zespołach eksperckich i konkursowych			2
Recenzowanie artykułów dla czasopism	z listy JCR	2	10
	międzynarodowe	2	
	krajowe	6	
Recenzowanie artykułów konferencyjnych	międzynarodowe	2	6
	krajowe	4	