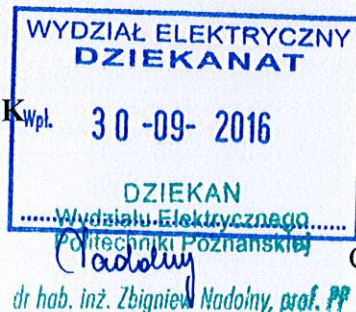


prof. dr hab. inż. **Zygmunt PIĄTEK**  
Politechnika Częstochowska



Częstochowa, 30 września 2016 roku

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. *Janusza TYKOCKIEGO* p.t.:  
***Metoda „Pareto - ABC” analizy elektrycznych układów wielo-parametrycznych***

### 1. Wstęp

Niniejszą recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej z dnia 29 czerwca 2016 roku zgodnie **Ustawą z dnia 14 marca 2003 r.** (z późniejszymi zmianami) **o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.**

Rozprawa zawiera wstęp, 7 rozdziałów merytorycznych, wnioski i uwagi końcowe, spis literatury - 104 pozycje, w tym 2 własne i 1 współautorską, 3 załączniki (listingi), wykaz rysunków i tabel z podpisami. Łącznie obejmuje 105 stron.

Ze względu na prezentowaną tematykę rozprawa jest w dużej mierze pracą z zastosowań informatyki w elektrotechnice.

W rozdziale 1 Autor przedstawia cel, tezę i zakres rozprawy. Rozdział 2 poświęcony jest zasadzie Pareto i jej zmodyfikowanej wersji w zastosowaniu do badania układów wielo-parametrycznych. W rozdziale 3 rozprawy jej Autor opisuje konstrukcje kabli WN podając równania do badania pola temperatury w kablach i ich otoczeniu z uwzględnieniem czynników takich jak przewodność cieplna ziemi, temperatura powietrza, wymianę ciepła nad powierzchnią ziemi, rezystywność i przewodność cieplną żyły kabla i jego izolacji, obciążalność prądową kabla, układ geometryczny systemu kablowego jak również głębokość ułożenia kabla w ziemi.

Podstawowymi zagadnieniami badanymi w rozprawie są:

- analiza pola temperatury dla pojedynczego kabla ułożonego w ziemi – rozdział 4,
- analiza pola temperatury w układzie trójfazowym kabli WN – rozdział 5,
- analiza nieliniowego równania stanu – rozdział 6,
- analiza obwodu elektrycznego z nieliniową cewką – rozdział 7,
- analiza strat mocy czynnej w sieci ŚN przy zmianie lokalizacji jednostki wytwórczej w sieci elektroenergetycznej – rozdział 8.

W wyżej wymienionych przypadkach Autor rozprawy konsekwentnie stosuje „zmodyfikowaną zasadę Pareto”.

Merytoryczna część rozprawy kończy się obszernymi wnioskami i uwagami końcowymi – rozdział 9.

### 2. Tematyka rozprawy

Zasada Pareto, nazywana także regułą lub prawem Pareto, jak również prawem 80/20 wywodzi się z praktyki gospodarczej. Zasada to jest prawem empirycznym żywej mniejszości i błażej większości i stwierdza, że w wielu sytuacjach konkretnych 80 % konsekwencji wypływa z 20 % przyczyn. W swej istocie zasada Pareto jest ogólną zasadą nierównomierności, przy czym wartości liczbowe należy traktować elastycznie, bowiem w rzeczywistości mogą występować znaczne odchylenia od proporcji 80/20, np. mogą to być wartości 70/30 czy też 60/40.



Z reguły Pareto wynika ogólna zasada, zgodnie z którą osiąganie określonych efektów będzie najbardziej uzasadnione wtedy, gdy zajmiemy się tylko przyczynami powodującymi największy efekt, nie tracąc czasu, pieniędzy i wysiłku na „błahostki”. Innymi słowy, jeśli w przypadku ogólnym 20% przyczyn decyduje aż o 80 % efektów lub skutków działania tych przyczyn, to uzasadnionym jest odmienne podejście do sterowania czy też uwzględniania tych 20 % przyczyn, które zasadniczo wpływają na cały proces. Wyznaczenie owych 20 % szczególnie ważnych przyczyn jest celem techniki, zwanej także analizą *ABC*.

Analiza *ABC* dzieli skutki pod kątem ich ważności i znaczenia w całym opisywanym procesie gospodarczym a także w układach fizycznym w tym w przypadkach układów elektrycznych. W analizie tej pierwszym istotnym etapem jest ustalenie liczby elementów będących przedmiotem analizy i sprządenie wykresu Pareto. Następnie wyznacza się obszary *A*, *B* oraz *C*. Obszar *A* zawiera wszystkie kategorie, dla których wykres kumulowany mieści się pod linią 80 %. Obszar *B*, przylegający do obszaru *A*, kończy się na kategorii leżącej bezpośrednio pod linią 95%. Obszar *C* obejmuje pozostałe kategorie (przyczyny). Ostatnim etapem analizy *ABC* jest analiza wyników i przyjęcie odrębnych strategii postępowania w stosunku do poszczególnych obszarów. Należy przy tym mieć na uwadze to, że obszar *A* jest podzbiorem kluczowym dla rozważanego zagadnienia. Ma to szczególne znaczenie w przypadku niewielkiej liczby kategorii i niewielkiej liczby danych (co jest częstym zjawiskiem w technice). Wtedy też wystarczy ograniczyć analizę do obszaru *A*. Generalnie, dalsze badania szczegółowe powinny koncentrować się na elementach obszaru *A*.

W recenzowanej rozprawie doktorskiej jej Autor wykorzystuje zasadę Pareto w analizie układów elektrycznych opisanych równaniami różniczkowymi o pochodnych cząstkowych, układami równań algebraicznych jak również układami liniowych i nieliniowych równań różniczkowych zwyczajnych. Po opracowaniu definicji i wzorów wykorzystywanych w analizie układów elektrycznych oraz wprowadzeniu podstaw algebry liniowej globalnej analizy stanu ustalonego lub przejściowego wybranego układu elektrycznego z wykorzystaniem zasady Pareto, zasadę tę nazywa „zmodyfikowaną zasadą Pareto”. Szczegółowym badaniom poddaje trójfazowe układy kabli WN ułożonych bezpośrednio w ziemi lub w kanałach betonowych. Następnie Autor rozprawy bada stany przejściowe układów elektrycznych opisanych równaniami stanu. Rozprawę kończy analizą układów elektroenergetycznych modelowanych układami równań algebraicznych.

Bazując na ww. przykładach Autor stawia tezę, że poprzez zastosowanie „zmodyfikowanej zasady Pareto” oraz analizę *ABC* możliwe jest wyznaczenie obszarów *A*, *B* i *C*, tzn. obszarów mających decydujący, średni i minimalny wpływ na funkcję celu charakteryzującą stan statyczny lub dynamiczny układów elektrycznych.

Stąd też uważam, że **opracowanie procedur z zastosowaniem „zmodyfikowanej zasady Pareto” do analizy układów elektrycznych jest tematem oryginalnym i zasługującym na uwagę wnoszącym jednocześnie nowy zasób wiedzy do teorii algorytmów oraz teorii elektrycznych układów nieliniowych.**

Pierwszym przykładem z zastosowaniem „zmodyfikowanej zasady Pareto” i analizy *ABC* jest analiza pola temperatury jednożyłowego układu kablowego WN (rozdział 4). Złożone zmiany 7 parametrów występujących w funkcji celu opisującej temperaturę żyły kabla to przewodność cieplna ziemi, temperatura powietrza nad powierzchnią ziemi, obciążenie prądowe kabla, jego rezystywność, współczynnik wymiany ciepła nad powierzchnią ziemi, przewodność cieplna najgrubszej warstwy dielektryka kabla oraz przewodność cieplna żyły kabla. Wykorzystując „zmodyfikowaną zasadę Pareto” Autor rozprawy przeprowadził komputerowe badania symulacyjne, według własnych procedur, otrzymując wynik końcowy w postaci wykresów *ABC* i krzywych Lorenza dla różnych głębokości ułożenia kabla. Postępując w ten sposób Autor zauważa, że np. do głębokości 10 m do zbioru *A* zalicza się przewodność cieplną ziemi oraz temperaturę nad powierzchnią ziemi zaś na głębokości ułożenia kabla 20 m sytuacja ulega zmianie – obszar *A* zawiera wtedy przewodność cieplną ziemi oraz obciążalność długotrwałą kabla. Na głębokości 1 m największy wpływ na wartość temperatury w żyłce kabla mają zmiany temperatury powietrza, zaś na



drugim miejscu występuje wartość przewodności cieplnej ziemi. Podobnie ma się sprawa z obszarem *B*. Rozważania w tym rozdziale, przypadek pojedynczego kabla, Autor kończy ogólnym wnioskiem, że na temperaturę żyły kabla ułożonego na głębokości 1 m istotne znaczenia mają tylko trzy parametry, a mianowicie temperatura powietrza nad powierzchnią ziemi i przewodność cieplna ziemi należące do obszaru *A* oraz obciążalność długotrwałą kabla należąca do obszaru *B*. Stwierdza też, że parametry charakteryzujące właściwości materiałowe kabli oraz współczynnik konwekcyjnej wymiany ciepła mają minimalny wpływ na temperaturę żyły kabla.

W przypadku trójfazowych układów kabli WN (rozdział 5) zachodzi konieczność uwzględnienia dodatkowych parametrów wpływających na temperaturę żył kabli. Do parametrów wymienionych w rozdziale 4 rozprawy zostają dołączone trzy parametry definiujące odległość kanałów powietrznych od powierzchni bloku betonowego, promień kanałów powietrznych, ich wzajemne położenie, przewodność cieplna kanału powietrznego oraz przewodność betonu. Zastosowanie „zmodyfikowanej zasady Pareto” i analizy *ABC* umożliwiło Autorowi rozprawy analizę rozkładu pola temperatury w zależności od głębokości umieszczenia układu trójfazowego w ziemi, zmian temperatury powietrza oraz przewodności cieplnej ziemi. Z otrzymanych wykresów *ABC* i krzywych Lorenza Autor konkluduje, że na poszczególnych głębokościach ułożenia kabli zasadniczy wpływ na temperaturę żyły kabla ma temperatura nad powierzchnią ziemi, przewodność cieplna ziemi, obciążenie prądowe kabla, przewodność cieplna kanału powietrznego oraz przewodność cieplna betonu. Przynależność ww. parametrów do obszarów *A* lub *B* zależy od głębokości ułożenia układu kabli. Autor stwierdza też, że parametry konstrukcyjne układu należą do obszaru *C*, czyli ich wpływ na temperaturę żył kabli jest minimalny w porównaniu z wpływem ww. parametrów.

W przypadku układu opisanego nieliniowym równaniem stanu Autor rozprawy stosuje „zmodyfikowaną zasadę Pareto” do badania dynamiki takiego układu. Przyjmuje przy tym 9 zmieniających się parametrów bazowych dla różnych wartości parametru podstawowego. Dla arbitralnie przyjętych wartości parametrów bazowych stwierdza, że tylko niektóre z nich mają największy wpływ na wartość funkcji celu, czyli tylko niektóre z nich mają podstawowy wpływ na dynamikę układu. W rozdziale tym Autor rozprawy definiuje układ wieloparametryczny oraz przedstawia oryginalne procedury algorytmu przeznaczonego do badania układów nieliniowych opisanych równaniem stanu. Wykresy słupkowe *ABC* oraz krzywą Lorenza zastępuje modelem macierzowym uzyskując identyczne interpretacje wyników.

Kolejnym przykładem algorytmu z wykorzystaniem „zmodyfikowanej zasady Pareto” i analizy *ABC* jest analiza arbitralnie obwodu elektrycznego z nieliniową cewką z dwoma wymuszeniami napięciowymi, rezystancjami i kondensatorami (rozdział 7). Jedno z wymuszeń traktowane jest jako zmienny parametr podstawowy. Całkowita liczba parametrów wynosi 10. Uzyskane wykresy *ABC* i krzywe Lorenza umożliwiają Autorowi rozprawy na stwierdzenie, które parametry mają podstawowy, zasadniczy wpływ na dynamikę obwodu, czyli które z nich należą do obszaru *A*.

W przypadku przyłączania jednostek wytwórczych, np. źródeł odnawialnych, do elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej, występuje zagadnienie optymalizacyjne polegające na wyborze przyłączenia do określonego węzła sieci. W tym przypadku funkcją celu jest ilość generowanej energii elektrycznej wraz z minimalną wartością strat energii w liniach zasilających. Parametrami badanego układu są: parametry jednostek wytwórczych, zjawiska pogodowe oraz współrzędne terenowe i ich rozmieszczenie. Wtedy też zachodzi konieczność minimalizacji strat energii elektrycznej w sieci elektroenergetycznej dla wybranej, stałej lokalizacji jednostek wytwórczych przy zmieniających się warunkach poboru mocy. Dla arbitralnie wybranej sieci elektroenergetycznej Autor rozprawy przyjmuje 22 impedancje odbiorców sieci jako parametry bazowe (rozdział 8). Wtedy funkcją celu jest suma strat mocy czynnej w liniach zasilających, a parametrem podstawowym jest numer węzła, do którego przyłączony jest jeden turbozespół wiatrowy. Stosując „zmodyfikowaną zasadę Pareto” i analizę *ABC* Autor rozprawy wykazuje, że



można wyróżnić parametry mające podstawowy wpływ na straty mocy czynnej w badanym fragmencie sieci w zależności od miejsca przyłączenia turbiny wiatrowej.

Przedstawiona wyżej tematyka rozprawy ma istotne znaczenie z punktu widzenia teoretycznego jak również praktycznego. **Dlatego też uważam, że jej wybór jest całkowicie uzasadniony.** Jednocześnie tematyka ta obejmuje trudne i aktualne zagadnienie numerycznego badania układów elektrycznych.

### 3. Osiągnięcia naukowe rozprawy

Za zasadnicze osiągnięcia naukowe opiniowanej rozprawy uważam:

- 3.1. Zmodyfikowanie klasycznej zasady Pareto i nowatorskie zastosowanie jej, wraz z analizą *ABC*, do badania wieloparametrowych układów elektrycznych.
- 3.2. Opracowanie ogólnego algorytmu i procedury do analizy stanu statycznego i dynamicznego wieloparametrycznych układów elektrycznych modelowanych deterministycznie.
- 3.3. Wprowadzenie podstawy algebry liniowej w celu opisu globalnego stanu układu pozwalającej na opis stanu dynamicznego lub statycznego układu w zależności od parametru podstawowego i parametrów bazowych.
- 3.4. Propozycja metody pozwalającej na ocenę dynamiki układów elektrycznych modelowanych układem równań różniczkowych zwyczajnych w zależności od zmiennych parametrów układu.
- 3.5. Przedstawienie przykładów wymienionych w punkcie 2 recenzji.
- 3.6. W przypadku pojedynczego kabla jak również układów kablowych wykazanie, że na temperaturę żyły kabla zasadniczy wpływ ma temperatura powietrza nad powierzchnią ziemi, jej przewodność cieplna i obciążalność prądowa kabla.
- 3.7. Wykazanie, że kolejność parametrów decydujących o temperaturze żyły kabla zależy od głębokości ułożenia go (ich) w ziemi.
- 3.8. Wykazanie minimalnego wpływu na temperaturę żyły kabla bloku betonowego, w tym jego wymiarów geometrycznych.
- 3.9. Wykazanie, że przewodność cieplna dielektryka i żyły kabla (miedzi) nieznacząco wpływają na funkcję celu i zasadniczo są to parametry, które należą do obszaru *C*.
- 3.10. W przypadku układu opisanego nieliniowym równaniem stanu wprowadzenie funkcji celu w postaci norm wektora zmiennych stanu charakteryzujących czas osiągnięcia stanu ustalonego. Wtedy parametrem podstawowym jest przyjmowany zakres zmian wymuszenia, co pozwala w sposób globalny na ocenę dynamiki układu. Takie efekty można uzyskać dzięki wprowadzeniu „zmodyfikowanej zasady Pareto”.
- 3.11. W przypadku obwodu elektrycznego z cewką nieliniową wykazanie, że tylko niektóre elementy tego obwodu istotnie (należą do obszaru *A*) wpływają na dynamikę obwodu.
- 3.12. Wykazanie, że w przypadku badania strat mocy czynnej w układzie elektroenergetycznym o dużej liczbie parametrów, wprowadzenie opisu macierzowego „zmodyfikowanej zasady Pareto” ułatwia analizę tych strat.
- 3.13. Wykazanie, że w powyższym przypadku układu elektroenergetycznego największy wpływ na straty mocy czynnej w układzie mają impedancje odbiorników zlokalizowanych w sąsiedztwie podłączenia zespołu wytwórczego.
- 3.14. Wykazanie, że „zmodyfikowana zasada Pareto” w zastosowaniu do badania układów elektrycznych jest wielokryterialną narzędziem do wyznaczania przynależności parametrów badanego układu do obszarów *A*, *B* lub *C*, czyli klasyfikację tych parametrów ze względu na ich podstawowy, średni lub minimalny wpływ na dynamikę układu.





#### 4. Uwagi ogólne i szczegółowe

Uwagi jakie nasunęły mi się w trakcie studiowania recenzowanej rozprawy są następujące:

- 4.1. Praca jest napisana poprawną polszczyzną. Ze względu na oryginalne i zupełnie nowe podejście do analizy elektrycznych układów wieloparametrycznych, czyta się ją z zainteresowaniem, materiał przedstawiono w pracy w bardzo przystępnej formie a jego ujęcie nie budzi moich zastrzeżeń. Praca nie wymaga zmian ani uzupełnień merytorycznych. W całej pracy Autor zadbała o to, aby poszczególne wielkości były wyrażone w jednostkach SI. Zastosowana terminologia, oznaczenia i użyte symbole są w zasadzie prawidłowe.
- 4.2. Poszczególne rozdziały rozprawy powinny jednak zaczynać się od nowej strony, a nie być kontynuacją rozdziałów poprzednich.
- 4.3. W wykazie ważniejszych oznaczeń powinny być podane jednostki tym bardziej, że np. parametry mogą być wielkościami wymiarowymi lub bezwymiarowymi.
- 4.4. W rozdziale 3 znajduje się tylko opis ogólny dotyczący kabli WN i ich ułożenia oraz równanie przewodnictwa cieplnego bez podania metod jego rozwiązywania nie stanowi niczego nowego. Zatem powinien on być włączony do obecnego rozdziału 4.
- 4.5. Autor rozprawy powinien bardziej zadbać o odstępy między tekstem a wprowadzanymi wzorami.
- 4.6. Powinien być zachowany odstęp między wartością liczbowa wielkości fizycznej a jej jednostką, czyli np. nie  $h = 4\text{m}$  lecz  $h = 4\text{ m}$ .
- 4.7. Autor rozprawy nie może definitywnie wyzbyć się określenia „rdzeń kabla” (np. str. 32) zamiast żyła kabla.
- 4.8. Pozycja [37] w bibliografii zupełnie zbędnie podana jest po angielsku bowiem została wydana w języku polskim, a ponad to w tytule jest „... Delphi 4”, a nie Delphi.
- 4.9. Inne drobne uwagi redakcyjne przekazałem Autorowi rozprawy.
- 4.10. Sądzę, że twierdzenie (str. 8) „... teoria nieliniowych równań różniczkowych o pochodnych zwyczajnych nie jest w pełni opracowana ...” jest zbyt śmiałym sformułowaniem.
- 4.11. Wyjaśnienia wymagają wprowadzone w tabeli 4.2 czynniki  $T_1$  oraz  $T_2$ .
- 4.12. W przypadku kabli ułożonych w ziemi Autor rozprawy pisze, że głębokość ułożenia może osiągać wartość do 20 m. Czy tak głęboko można „zakopać” kabel? Czy są to tylko rozważania teoretyczne o bardzo wysokim stopniu abstrakcji, czy też ma to jakiegokolwiek znaczenie praktyczne, np. być może chodzi tutaj o przejścia linii kablowej pod wysokimi nasypami? Uważam, że jakieś wyjaśnienie tak dużej głębokości powinno być zamieszczone w tekście rozprawy.
- 4.13. Na rys. 5.4 (str. 41) przedstawiono rozkład pola temperatury układu trójfazowego przyjmując do wyboru funkcji celu temperaturę maksymalną  $T_r$  żyły górnego kabla. Jaka jest różnica temperatury między kablami?
- 4.14. Analizując wykresy temperatury żyły kabla  $T_r$  w zależności od przewodności cieplnej  $\lambda_z$  na rys. 4.11 i rys. 5.13 obserwuje się znaczące wartości  $T_r$  dla małych wartości  $\lambda_z$ . Jaka jest przyczyna takiej zależności?
- 4.15. Proszę uzasadnić konstrukcję wykresu temperatury w zależności od odległości  $h$  przedstawioną na rys. 4.4 w zależności od rozkładu pola temperatury w układzie rys. 4.3
- 4.16. Szerzej powinno się wyjaśnić zastosowanie „makra” programu Nisa/heat transfer do automatycznego modelowania zmian parametrów (załącznik 0.1, str.85).
- 4.17. Czy obwód z cewką nieliniową przedstawiony na rys. 7.1 jest przyjęty arbitralnie co do typów i liczby elementów, czy też jest to schemat zastępczy rzeczywistego układu elektrycznego?
- 4.18. Czy zaproponowana „zmodyfikowana zasada Pareto” i analiza ABC może być wykorzystana do analizy obwodu elektrycznego z więcej niż jedną cewką nieliniową?
- 4.19. Czy schemat sieci elektroenergetycznej przedstawiony na rys. 8.1. jest fragmentem rzeczywistej sieci, czy został on skonstruowany arbitralnie?



- 4.20. Czy zaproponowana „zmodyfikowana zasada Pareto” i analiza *ABC* może być wykorzystana do badania strat mocy czynnej w liniach zasilających w przypadku więcej niż jedna jednostka wytwórcza?
- 4.21. Jakie jest uzasadnienie wyboru parametrów bazowych w badanych układach elektrycznych oraz wybór parametru podstawowego.
- 4.22. Biorąc po uwagę szeroki zakres przedstawionych badań dotyczący modeli matematycznych układów elektrycznych, interesujące jest pytanie dotyczące możliwości zastosowania „zasady Pareto” w innych dziedzinach techniki.

## 5. Ocena rozprawy

Przedstawione w punkcie 4 uwagi krytyczne i komentarze mają w większości charakter dyskusyjny i nie podważają mojej pozytywnej opinii o rozprawie. Sądzę, że wszystkie te uwagi zostaną wyjaśnione w trakcie publicznej obrony rozprawy.

Podtrzymuję moją opinię o osiągnięciach naukowych rozprawy przedstawioną w punkcie czwartym.

**Podsumowując stwierdzam, że uzyskane wyniki udowadniają postawione tezy i realizują cele rozprawy oraz stanowią jednocześnie istotne poszerzenie wiedzy z zakresu elektrotechniki.** Uważam, że Autor rozprawy wykazał się bardzo dobrym przygotowaniem teoretycznym w zakresie elektrotechniki i metod numerycznych oraz umiejętnością samodzielnego formułowania i realizacji badań naukowych.

## 6. Wniosek końcowy

**Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Janusza TYKOCKIEGO pt. *Metoda „Pareto - ABC” analizy elektrycznych układów wielo-parametrycznych* stanowi oryginalny dorobek naukowy w dyscyplinie elektrotechnika i w pełni spełnia wymagania obowiązującej ustawy o stopniach i tytule naukowym, dotyczące rozpraw doktorskich. Wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

