

dr hab. inż. Waldemar Skomudek,
Katedra Zarządzania Energetyką
Politechnika Opolska
ul. Sosnkowskiego 31
45-272 Opole

Opole, 09.07.2020 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Krzysztofa Lenarczyka nt.

Wyznaczanie w budynkach o konstrukcji szkieletowej stref o minimalnym oddziaływaniu impulsów elektromagnetycznych powodowanych wyładowaniem piorunowym

**opracowana na zlecenie z dnia 27 maja 2020 r. Dziekana Wydziału Elektrycznego
Politechniki Warszawskiej**

Promotor: prof. dr hab. inż. Henryk Rawa

Promotor kontynuator: prof. dr hab. inż. Zdobysław Flisowski

1. Aktualność i oryginalność tematyki oraz cel i teza rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska koncentruje uwagę na problematyce identyfikacji zagrożenia stwarzanego przez napięcia i prądy udarowe powstające podczas wyładowań piorunowych współczesnym urządzeniom elektrycznym i elektronicznym, instalowanym w obiektach kubaturowych o konstrukcji szkieletowej. Zazwyczaj, niewielka odporność udarowa tych urządzeń na oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego, jak i przepięć wywołanych przepływem prądu piorunowego prowadzi do rozległych i skomplikowanych awarii, a szkody będące następstwem tych awarii niejednokrotnie znacząco pogarszają niezawodność działania systemów elektrycznych i elektronicznych, a także stanowią znaczącą pozycję nieplanowanych wydatków budżetowych. Fakty te sprawiają, że gwałtownie wzrasta zainteresowanie problematyką kompleksowej ochrony wrażliwych systemów elektrycznych i elektronicznych zainstalowanych i użytkowanych w obiektach budowlanych, przed oddziaływaniem prądu piorunowego, czy też impulsowego pola elektromagnetycznego.

Złożoność problematyki wzmacnia różnorodność ustrojów konstrukcyjnych obiektów budowlanych, mogąca w specyficznych rozwiązaniach sprzyjać rozwojowi negatywnego zjawiska, jakim jest generacja przepięć. W szczególności dotyczy obiektów budowlanych wykonanych za pomocą szkieletowego systemu konstrukcyjnego, polegającego na rozdzieleniu funkcji elementów nośnych (szkieletu), zazwyczaj wykonanych ze stali lub żelbetu i elementów wypełniających (ściany, osłony i in.). Specyfika takiej konstrukcji sprawia, że ogromnego znaczenia w procesie analizy zagrożeń występujących podczas oddziaływania piorunowego impulsu elektromagnetycznego nabiera kwestia podziału i przepływu prądu udarowego w przewodzących elementach konstrukcyjnych takiego obiektu.

Dostrzeżone zagrożenie stwarzane przez bezpośrednie oddziaływanie rozpryskującego się prądu piorunowego lub przepięcia atmosferyczne w powiązaniu z koniecznością utrzymania bezawaryjnego i niezawodnego działania urządzeń elektrycznych i elektronicznych

zainstalowanych w obiektach kubaturowych o specyficznej szkieletowej konstrukcji nośnej, wykonanej z materiału przewodzącego prąd elektryczny zainspirowało Doktoranta do przeprowadzenia analiz teoretycznych i badań symulacyjnych rozplywu prądów udarowych w różnych obiektach. Rezultatem wykonanych prac są interesujące wnioski, które w swej wymowie zachowują wartość naukową, badawczą, a także są zgłębieniem wiedzy praktycznej w badanym obszarze narażeń przepięciowych.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest opracowaniem o charakterze naukowo-technicznym, jasno określonym celu oraz prawidłowo postawionej i udowodnionej tezie – nieznaczny mankament zapisu tezy wskazano w p. 4 recenzji.

Doktorant w treści rozprawy doktorskiej dostrzega istotę i wagę problematyki zagrożenia stwarzanego przez bezpośrednie oddziaływanie rozplywającego się prądu piorunowego na urządzenia pracujące w rozbudowanych i rozległych systemach elektronicznych obiektów kubaturowych. W przeprowadzonych badaniach uwzględnił także różnorodność obiektów budowlanych, co wymaga prowadzenia analiz odrębnie dla każdego obiektu.


Mimo wielu prac opublikowanych w ostatnich latach na temat narażeń piorunowych, stosowanej ochrony przed skutkami wyładowań piorunowych i oddziaływań impulsów elektromagnetycznych, a także szacowania tych narażeń dla różnorodnych obiektów budowlanych, w szczególności wysokich konstrukcji szkieletowych, recenzowana rozprawa stanowi oryginalny dorobek Autora. Główną przesłanką uzasadniającą prezentowane stanowisko są wykonane badania symulacyjne i analiza uzyskanych wyników, na podstawie których istnieje możliwość doboru odpowiednich rozwiązań ochrony odgromowej.

2. Rozwiązanie postawionego zadania - metody i samodzielność Doktoranta

Praca jest o objętości 163 stron. Została podzielona na 8 rozdziałów, przy czym rozdziały 5, 6 i 7 stanowią zasadniczą część rozprawy doktorskiej. Rozdział 8 rozprawy zawiera podsumowanie wyników badań symulacyjnych, którego zapisy udowadniają słuszność tezy postawionej w pracy. W pracy zamieszczono 77 rysunków i 37 tablic. W bibliografii umieszczono 258 pozycji literatury. Lista publikacji zawiera tylko jedną pozycję autorską Doktoranta – publikacja konferencyjna umieszczona w Przeglądzie Elektrotechnicznych nr 1/2006 r.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zawiera jednoznacznie określony cele, tezę oraz zakres pracy. Treść merytoryczna rozprawy została zawarta w rozdziałach 1-8. Podsumowanie wyników badań dowodzące słuszność tezy postawionej w pracy oraz rekomendacje do dalszego rozwoju badań symulacyjnych, dzięki którym istnieje możliwość doboru odpowiednich rozwiązań ochrony odgromowej ujęto w rozdziale 8.

Zamiarem Doktoranta było określenie w obiektach kubaturowych o konstrukcji szkieletowej przestrzeni, w których zagrożenie, wywołane prądami piorunowymi, rozplywającymi się w przewodzących elementach trafionego przez piorun obiektu jest większe niż w innych przestrzeniach takich budynków. Podejmując działania zmierzające do osiągnięcia celu Doktorant w rozprawie doktorskiej w części opisowej – rozdziały 1, 2 i 4 – zamieścił aktualne informacje odnoszące się do zjawiska wyładowań atmosferycznych, wskazując na realne zagrożenie jakie stwarza to zjawisko dla osób, obiektów użytkowych i urządzeń. Jednocześnie w tej części Doktorant wskazuje na stale istniejącą potrzebę modyfikacji/ulepszenia istniejących środków ochrony w celu ograniczenia negatywnego oddziaływania tego zjawiska na otoczenie.

 części badawczej rozprawy – rozdziały 5, 6 i 7 – Doktorant zawarł przede wszystkim:

- odniesienie do metod obliczeniowych stosowanych do wyznaczania podziału prądu piorunowego w przewodach urządzenia piorunochronnego lub w przewodzących konstrukcjach szkieletowych budynków,
- badania symulacyjne rozptywu prądów uderzeniowych w metalowych elementach konstrukcyjnych (słupy wsporcze, wsporniki i in.)
- badania symulacyjne rozkładu wartości opóźnionego potencjału wektorowego pola elektromagnetycznego, wywołanego przepływem prądu piorunowego.

Rozdziały 5, 6 i 7 rozprawy doktorskiej są kluczowe dla tego opracowania. Szczegółowe podsumowanie uzyskanych wyników badań wraz ze wskazaniem wkładu własnego Doktoranta do reprezentowanej przez Niego dziedziny nauki ujęto w rozdziale 8 rozprawy.

Uzyskane przez Doktoranta wyniki z przeprowadzonych analiz i badań symulacyjnych są niewątpliwie oryginalne. Ich ranga rośnie w szczególności w odniesieniu do problematyki zapobieżenia niekontrolowanemu rozptywowi prądu piorunowego w szkieletowych konstrukcjach budynków. Przeprowadzone przez Doktoranta badania symulacyjne wraz z uzyskanymi rezultatami można oceniać w sposób jednoznacznie pozytywny.

Do analizy problemu określonego w tezie oraz do przeprowadzenia badań symulacyjnych rozptywu prądu piorunowego w budynkach Doktorant wykorzystał oprogramowanie MATLAB/Simulink (graficzne środowisko programistyczne do modelowania, symulacji i analizy wielodomenowych układów dynamicznych) zmodyfikowane w części obliczeniowej o program autorski Doktoranta.

Zamierzony cel pracy Doktorant osiągnął m.in. poprzez:

- analizę dostępnych rezultatów prac badawczych obejmujących procesy przepięciowe,
- analizę i ocenę narażenia przepięciowego urządzeń elektrycznych i elektronicznych instalowanych w obiektach budowlanych o charakterystycznych konstrukcjach szkieletowych,
- analizę różnych konstrukcji budynków pod względem ich podatności na wzrost zagrożenia przepięciowego złożonej struktury kubaturowej,
- badania symulacyjne przepięć generowanych w metalowych elementach konstrukcyjnych wskutek przepływu prądu uderzeniowego,
- analizę rezultatów badań symulacyjnych i sformułowanie na tej podstawie wniosków wskazujących na możliwość ograniczenia zagrożenia m.in. elektronicznych urządzeń informatycznych przepięciami indukowanymi w obiektach budowlanych o specyficznych konstrukcjach nośnych.

Na podstawie wskazanych osiągnięć można stwierdzić, że postawione w tezie rozprawy kwestie zostały rozwiązane w sposób satysfakcjonujący recenzenta. Można także przyjąć z dużym prawdopodobieństwem akceptację uzyskanych przez Doktoranta rezultatów przez znaczącą część zainteresowanego środowiska naukowego.

3. Wiedza Doktoranta i umiejętność prezentowania wyników naukowych

Omawiając w kolejnych rozdziałach rozprawy sposób realizacji jej celu Doktorant ujawnił swoje predyspozycje naukowe i wiedzę z zakresu tematyki, obejmującej:

- ogólną charakterystykę przepięć, warunki powstawania przepięć i ich oddziaływanie na otoczenie,
- ocenę zagrożenia piorunowego obiektów naziemnych,
- rodzaje i dobór środków ochrony od przepięć obiektów budowlanych,
- technikę modelowania i symulacji komputerowej,
- technikę obliczeń komputerowych wykorzystywanych przy analizach i ocenie skuteczności działania zaproponowanych modyfikacji układów ochrony od przepięć atmosferycznych.

Dzięki tym umiejętnościom Doktorant uzyskał interesujące wyniki badań i analiz. Tym samym, wykazał dobre przygotowanie teoretyczne i dużą zręczność zarówno w modelowaniu, jak i komputerowej symulacji rozpatrywanych zagadnień. Doktorant uzyskał zdolność samodzielnego prowadzenia badań, a także posiada umiejętność przedstawiania i komentowania uzyskanych wyników badań i analiz oraz formułowania wniosków. Uzyskane wyniki pracy oraz sformułowane rekomendacje są wystarczające, aby włączyć Doktoranta do grona specjalistów, którzy posiadają umiejętność inicjowania badań naukowych, uzyskiwania interesujących rezultatów swoich prac i zadowolającego ich prezentowania.

Niewątpliwie, Doktorant swoją rozprawą doktorską przyczynił się do rozwoju reprezentowanej przez siebie dziedziny nauki.

4. Uwagi, zastrzeżenia do rozprawy doktorskiej

Mając na względzie zachowanie obiektywności w ocenie rozprawy doktorskiej, doceniając jej pozytywne walory nie można pominąć dostrzeżonych nielicznych nieprawidłowości i usterek redakcyjnych. Wśród nich są następujące:

- str. 23 – teza składa się z trzech zdań; zdania pierwsze i drugie stanowią zasadniczą treść tezy, natomiast zdanie trzecie, cyt.: „Wartość krytyczna potencjału wektorowego wynika z indywidualnych cech zagrożonego urządzenia” jest informacją oczywistą, do której w dalszej części rozprawy Doktorant nie odnosi się (także w podsumowaniu rozprawy brak odniesienia do przytoczonego stwierdzenia); zatem, można uznać tą część tezy jako zbędną,
- str. 130, Podsumowanie wyników badań. Wnioski z badań symulacyjnych – w tytule rozdziału jest wskazanie na wnioski, a w treści rozdziału formułuje się ustalenia; zatem, rozdział dotyczy wniosków (wniosek to wynik, rezultat przemyślenia czegoś) czy ustaleń (ustalenie to zdecydowanie o ostatecznej formie, postaci lub przebiegu czegoś)?
- str. 130, Podsumowanie wyników badań. Wnioski z badań symulacyjnych – rozdział zawiera 16 wniosków cząstkowych, które faktycznie kwalifikują się do podsumowania przeprowadzonych badań symulacyjnych; natomiast brakuje dwóch, trzech wniosków głównych, które stanowiłyby rezultat ogółu prac wykonanych przez Doktoranta w zakresie objętym rozprawą doktorską,
- str. 136, Bibliografia – w bibliografii zamieszczona została tylko jedna publikacja, której autorem jest Doktorant; czy Doktorant ma w swoim dorobku publikacyjnym tylko jedną publikację? Jeśli publikacji jest więcej, to czy tylko jedna treścią nawiązuje do tematu rozprawy?
- str. 136 Bibliografia – w bibliografii zamieszczono 258 pozycji, nie wszystkie z przywołanych publikacji przywołano w treści rozprawy; zatem, czy Doktorant faktycznie zapoznał się i korzystał z treści wszystkich przywołanych publikacji?

- znaczna część rysunków zamieszczonych w rozprawie jest złej jakości – rysunki nieczytelne (np. rys. 4.3, 4.10, 4.11, 6.2, 7.3-7.27), zniekształcone i z opisami wykonanymi różnym krojem i wielkością czcionki (np. rys. 4.10a, 4.10b, 4.12, 4.13, 6.1, 6.5 i in.),
- w pracy w wielu miejscach występują błędy literowe i interpunkcyjne (np. str. 5, wiersz 4 góra strony – cyt.:”... na które narażoną są czułe urządzenia ...”; str. 5, wiersz 8 góra strony – cyt.:”... we wewnątrz budynku ...”; str. 22, wiersz 9 od dołu strony – cyt.:” ... w obiektach budowlanych (o) konstrukcji szkieletowej ...” – brak litery „o”; str. 28, wiersz 6 od dołu strony – cyt.:”... może sięgać setek kA ...” – powinno być „setek kiloamperów” i in.)

Ponieważ rozprawa dotyczy bardzo istotnego zagadnienia, jakim jest ochrona urządzeń i systemów elektronicznych przed oddziaływaniem piorunowego impulsu elektromagnetycznego istotnym wydaje się uzyskanie ze strony Doktoranta podczas obrony wyczerpującego wyjaśnienia w kilku dodatkowych kwestiach:

1. W rozprawie doktorskiej Autor koncentruje uwagę na różnego rodzaju analizach i na rezultatach badań symulacyjnych. Na tej podstawie znacząco i w sposób interesujący rozwinął proces wnioskowania. Wszystkie wykonane czynności badawcze, odzwierciedlające samodzielny i oryginalny dorobek Doktoranta, miały wspólny cel – określenie w budynkach o konstrukcji szkieletowej przestrzeni, w których zagrożenie, wywołane prądami piorunowymi, rozprzyskającymi się w przewodzących elementach trafionego przez piorun obiektu jest większe niż w innych przestrzeniach takich budynków. Jednak po uważnej lekturze rozprawy rodzi się istotne – zdaniem recenzenta – pytanie, co prawda wykraczające swym zakresem poza ramy rozprawy doktorskiej, jednak w swej wymowie pragmatycznej, jak najbardziej zasadne: W jaki sposób można zaradzić negatywnemu oddziaływaniu rozpryskającego się prądu piorunowego na urządzenia elektryczne i elektroniczne instalowane w budynkach o specyficznej konstrukcji szkieletowej? Czy rozważane jest wyrównywanie potencjałów wewnątrz takich obiektów? Jeśli tak, to czy są to działania wystarczające? Czy wykorzystanie ścian elewacyjnych budynków wysokich do instalacji w formie elewacji paneli fotowoltaicznych – w świetle opisanych w rozprawie zagrożeń jest słuszne/celowe/możliwe? Czy dostępne rozwiązania w tym zakresie uwzględniają zidentyfikowane zagrożenie?
2. W opracowaniach projektowych obejmujących branżę budowlaną mamy do czynienia z dopuszczeniem do stosowania (w zgodzie z prawem) różnych rozwiązań w zakresie konstrukcji nośnych obiektów. Zatem, czy istnieje możliwość opracowania wystandaryzowanych ogólnych zasad ochrony takich obiektów przed oddziaływaniem przepięć piorunowych?

5. Końcowa ocena rozprawy

Podane w rozprawie rozważania i jej wyniki, mimo wykazanych uwag i zastrzeżeń, pozwalają na stwierdzenie, że Doktorant dysponuje ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie *elektrotechnika* będącej przedmiotem dotychczasowej działalności naukowej Doktoranta, z jednoczesnym stwierdzeniem pozytywnej relacji Jego osiągnięć wobec dyscypliny *automatyka, elektronika i elektrotechnika* według nowej kwalifikacji. Doktorant podjął oryginalne i ważne zadanie, rozwiązał je, stosując akceptowalne metody oraz wykazał umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Zatem, stwierdzam, że recenzowana rozprawa odpowiada wymaganiom stawianym w art. 13. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21 czerwca 2016 r., poz. 882) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej.

Recenzent

Waldemar Skowroński