

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Renata Markowska

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – nazwa, miejsce i rok uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej.

Doktor nauk technicznych Białystok, 7 lipca 2006

Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny

Dyscyplina naukowa: Elektrotechnika

Tytuł rozprawy: *Analiza zagrożenia piorunowego urządzeń w obiektach radio-komunikacyjnych*

Magister inżynier Białystok, 17 października 1997

Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny

Kierunek studiów: Elektronika i Telekomunikacja

Temat: *Stanowisko laboratoryjne systemu łączności z widmem rozproszonym*

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

Adiunkt od października 2007 do chwili obecnej
Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny

Asystent od kwietnia 1998 do września 2007
Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.).

Podstawą wniosku habilitacyjnego jest osiągnięcie wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami), w postaci jedno-tematycznego cyklu publikacji z zakresu analizy narażeń piorunowych i ochrony odgromowej. Cykl ten tworzy **37** publikacji wymienionych niżej (pkt b), spośród łącznej liczby **65** prac opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora (ponumerowanych w porządku chronologicznym i wymienionych w *wykazie opublikowanych prac* – załącznik 3A).

a) Tytuł osiągnięcia naukowego.

Analizy zagrożeń piorunowych i ochrony przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym w obiektach budowlanych

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa).

Nr	Publikacja	IF	UP	LP
5.	Markowska R.: „ <i>Lightning threat as a result of potential differences in a telecommunication centre during direct strike to the tower</i> ”; XVII International Conference on Electromagnetic Disturbances (EMD'2007); 19-21 September 2007; Białystok, Poland; pp. 8.9-1–8.9-4, 217–220.	-	100	-
7.	Markowska R.: „ <i>Surge currents and voltages at the low voltage power mains during lightning strike to a GSM tower</i> ”; IX International Symposium on Lightning Protection (IX SIPDA); 26–30 November 2007; Foz do Iguaçu, Brazil; pp. 347–350.	-	100	-
8.	Markowska R.: „ <i>Potential differences and voltages induced in cabling systems of a telecommunication building during direct lightning strike to the tower</i> ”; IX International Symposium on Lightning Protection (IX SIPDA); 26–30 November 2007; Foz do Iguaçu, Brazil; pp. 500–504.	-	100	-
12.	Markowska R.: „ <i>Travelling wave processes during direct lightning strike to a large building</i> ”; 29 th International Conference on Lightning Protection (ICLP 2008); 23–26 June 2008; Uppsala, Sweden; CD-ROM, pp. 3b-7-1 – 3b-7-4.	-	100	-
13.	Markowska R.: „ <i>Lightning currents and overvoltages in LV power mains during direct strike to a GSM base station tower</i> ”; 29 th International Conference on Lightning Protection (ICLP 2008); 23–26 June 2008; Uppsala, Sweden; CD-ROM, pp. 6b-8-1 – 6b-8-7.	-	100	-
15.	Markowska R.: „ <i>Lightning current waveforms of subsequent return stroke in construction elements of a large building</i> ”; XVIII International Conference on Electromagnetic Disturbances (EMD'2008); 25–26 September 2008; Vilnius, Lithuania; pp. 19–21.	-	100	-
16.	Markowska R., Sowa A., Augustyniak L.: „ <i>Protection against sparks during direct lightning strike to LPS of building</i> ”; XVIII International Conference on Electromagnetic Disturbances (EMD'2008), 25–26 September 2008; Vilnius, Lithuania; pp. 22–24.	-	30	-
19.	Sowa A. W., Markowska R., Augustyniak L.: „ <i>Podział prądu piorunowego w urządzeniach piorunochronnych obiektów budowlanych</i> ” [„ <i>Lightning current distribution in lightning protection systems of structures</i> ”]; Przegląd Elektrotechniczny; R. 84, nr 10/2008; s. 263–265.	-	40	4,33
22.	Markowska R., Sowa A., Augustyniak L.: „ <i>Current distribution investigation on the building Lightning Protection Systems</i> ”; 2008 International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE 2008); 9–12 November 2008; Chongqing, China; pp. 203–206.	-	30	-

Nr	Publikacja	IF	UP	LP
24.	Markowska R.: „ <i>Lightning current distribution during direct strike to a radio base station located on a building roof</i> ”; International Conference on Grounding and Earthing & 3 rd International Conference on Lightning Physics and Effects (GROUND 2008 & 3 rd LPE); 16–20 November 2008; Florianopolis, Brazil; pp. 114–118.	-	100	-
25.	Markowska R., Sowa A.: „ <i>Lightning current distributions in conductive elements of large halls</i> ”; International Conference on Grounding and Earthing & 3 rd International Conference on Lightning Physics and Effects (GROUND 2008 & 3 rd LPE); 16–20 November 2008; Florianopolis, Brazil; pp. 119–124.	-	70	-
28.	Markowska R.: „ <i>Lightning current distributions in LPS of a building with a radio base station on the roof</i> ”; 2009 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC'09/Kyoto); 20–24 July 2009; Kyoto, Japan; CD-ROM and Book of Abstracts, 24S3-3, pp. 845–847.	-	100	-
31.	Markowska R., Wiater J. M.: „ <i>Combined current-potential measuring method for analysis of lightning threat in structures exposed to direct strikes</i> ”; XIX International Conference on Electromagnetic Disturbances (EMD'2009); 23–25 September 2009; Białystok, Poland; pp. 166–169.	-	60	-
35.	Markowska R., Sowa A.: „ <i>Evaluation of separation distance between LPS and conductive installation inside the structure</i> ”; X International Symposium on Lightning Protection (X SIPDA); 9–13 November 2009; Curitiba, Brazil; pp. 317–321.	-	30	-
36.	Markowska R., Sowa A.: „ <i>Voltages in electrical installation during lightning strike to a GSM mast located on a building roof</i> ”; X International Symposium on Lightning Protection (X SIPDA); 9–13 November 2009; Curitiba, Brazil; pp. 323–326.	-	80	-
37.	Markowska R.: „ <i>Analiza ryzyka szkód piorunowych</i> ”; Elektro Info; ISSN 1642-8722; nr 11/2009 (79); s. 71–74.	-	100	6
38.	Markowska R., Sowa A., Wiater J.: „ <i>Badania zagrożenia piorunowego wybranych układów elektronicznych systemów kontroli-pomiarowych</i> ” [„ <i>Research on lightning threat in selected electronic control and measuring systems</i> ”]; Pomiary, Automatyka, Kontrola; Vol. 56, nr 2/2010; s. 106–109.	-	25	3
39.	Markowska R.: „ <i>Modeling of lightning strike to a communication tower using a voltage source</i> ” [„ <i>Modelowanie wyładowania pioruna w wieżę radiokomunikacyjną z użyciem źródła napięcia</i> ”]; Przegląd Elektrotechniczny; ISSN 0033-2097; R. 86, nr 3/2010; s. 45–46.	0,242	100	13
40.	Markowska R.: „ <i>Analysis of lightning electromagnetic exposures in building electrical installation with SPD</i> ” [„ <i>Analiza elektromagnetycznych narażeń piorunowych w instalacji elektrycznej budynku wyposażonej w SPD</i> ”]; Przegląd Elektrotechniczny; ISSN 0033-2097; R. 86, nr 3/2010; s. 48–50.	0,242	100	13

Nr	Publikacja	IF	UP	LP
41.	Markowska R.: „Narażenia powstające w instalacji elektrycznej podczas wyładowania piorunowego w maszt stacji bazowej GSM zlokalizowanej na dachu obiektu budowlanego” [„Exposures in electrical installation during direct lightning strike to an antenna mast of a GSM base station located on a building roof”]; Przegląd Elektrotechniczny; ISSN 0033-2097; R. 86, nr 3/2010; s. 140–142.	0,242	100	13
42.	Markowska R.: „Przepięcia w okablowaniu dużego obiektu budowlanego podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego” [„Overvoltages in cable systems of large building during direct lightning stroke”]; Przegląd Elektrotechniczny; ISSN 0033-2097; R. 86, nr 3/2010; s. 143–145.	0,242	100	13
44.	Markowska R.: „Propagation of overvoltages in residential electrical installation equipped with SPD”; 30 th International Conference on Lightning Protection (ICLP 2010); 13–17 September 2010; Cagliari, Italy; CD-ROM, 7s, pp. 1108-1–1108-7.	-	100	-
45.	Markowska R., Sowa A., Wiater J.: „The influence of earthing systems on lightning current distribution in conductive elements of large halls”; 30 th International Conference on Lightning Protection (ICLP 2010); 13–17 September 2010; Cagliari, Italy; CD-ROM, 5s, pp. 1112-1–1112-5.	-	40	-
46.	Markowska R., Sowa A., Wiater J.: „Measurements of surge currents and potentials in a radio base station”; 30 th International Conference on Lightning Protection (ICLP 2010); 13–17 September 2010; Cagliari, Italy; CD-ROM, 5s, pp. 1117-1–1117-5.	-	50	-
49.	Markowska R.: „Influence of grounding and bonding arrangements on lightning current distribution in LPS and overvoltages in cable systems of a large hall”; International Conference on Grounding and Earthing & 4 th International Conference on Lightning Physics and Effects (GROUND’2010 & 4 th LPE); November 2010; Salvador, Brazil.	-	100	-
50.	Markowska R., Sowa A.: „The influence of lightning channel on current distribution in lightning protection system of a structure”; International Conference on Grounding and Earthing & 4 th International Conference on Lightning Physics and Effects (GROUND’2010 & 4 th LPE); November 2010; Salvador, Brazil.	-	85	-
51.	Markowska R., Sowa A., Wiater J.: „Measurements of surge currents and potentials in a radio base station for estimation of lightning threat”; Elektronika ir Elektrotechnika [Electronics and Electrical Engineering]; ISSN 1392-1215; Vol. 107, no 1, 2011; Technologija Kaunas; pp. 93–98.	0,913	50	2
55.	Markowska R.: „Przeskoki iskrowe do instalacji i urządzeń umieszczonych na dachach podczas wyładowań piorunowych w budynki” [„Flashovers to installations and equipment located on roofs during lightning strikes to buildings”]; Przegląd Elektrotechniczny; ISSN 0033-2097; R. 88, nr 2/2012; s. 73–75.	-	100	13

Nr	Publikacja	IF	UP	LP
56.	Markowska R.: „Analiza ryzyka szkód piorunowych. Przykłady wyznaczania komponentów ryzyka i określanie poziomów ochrony zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 62305-2”; Konferencja Oddziału Toruńskiego SEP „Ochrona odgromowa budynków i budowli oraz nowe techniki i technologie w elektroenergetyce”; 18 maja 2012; Toruń, Polska; s. 18–36.	-	100	-
57.	Markowska R.: „Danger of flashovers to electric equipment located on roofs of buildings struck by lightning” [„Zagrożenie przeskokami iskrowymi do urządzeń elektrycznych zlokalizowanych na dachach budynków trafionych przez wyładowania piorunowe”]; Przegląd Elektrotechniczny; ISSN 0033-2097; R. 88, nr 8/2012; s. 48–51.	-	100	13
58.	Markowska R.: „Influence of cable routing on the flashover distance between lightning protection system and electrical equipment on a building roof”; XXII International Conference on Electromagnetic Disturbances (EMD'2012); 20–21 September 2012; Vilnius, Lithuania; pp. 78–81.	-	100	-
59.	Markowska R.: „Analiza ryzyka strat piorunowych zgodnie z normą PN-EN 62305-2 – namiot publicznej imprezy masowej”; Wiadomości Elektrotechniczne; ISSN 0043-5112; R. 80, nr 10/2012; s. 14–18.	-	100	6
60.	Markowska R.: „Wyznaczanie odstępów izolacyjnych do celów ochrony odgromowej w budynkach” [„Estimation of separation distances for the purposes of lightning protection in buildings”]; Przegląd Elektrotechniczny; ISSN 0033-2097; R. 88, nr 11b/2012; s. 257–260.	-	100	13
61.	Markowska R.: „Rozchodzenie się przepięć atmosferycznych w instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym”; Wiadomości Elektrotechniczne; ISSN 0043-5112; R. 81, nr 01/2013; s. 14–17.	-	100	5
62.	Markowska R., Sowa A.: „Napięcia i prądy udarowe indukowane w instalacjach w obiekcie uderzonym przez piorun”; Elektro Info; ISSN 1642-8722; nr 3/2013 (112); s. 60–64.	-	40	2,5
63.	Markowska R.: „Influence of lightning current waveshape on the separation distance required between electrical equipment and lightning protection system”; Elektronika ir Elektrotechnika [Electronics and Electrical Engineering]; ISSN 1392-1215, On-line ISSN 2029-5731; Vol. 19, no 4, 2013; Kauno Technologijos Universitetas; pp. 15–18.	W chwili obecnej brak danych	100	20
65.	Markowska R., Sowa A. W.: „Ochrona odgromowa w obiektach radiokomunikacyjnych”; Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej; Monografia, 317 stron. Po recenzji, obecnie w fazie korekty autorskiej, zostanie wydana w 2013 r.	-	50	W chwili obecnej brak danych
IF – Impact Factor za publikację w czasopiśmie znajdującym się w bazie JCR (Journal Citation Reports), zgodnie z rokiem opublikowania. UP – Udział Procentowy w powstaniu pracy zbiorowej, uzgodniony ze współautorami. LP – Liczba Punktów za monografię lub artykuł w czasopiśmie znajdującym się w wykazie MNiSW, zgodnie z rokiem opublikowania, przypadająca na habilitantkę (wg wewnętrznych zasad PB).				

Spośród przedstawionego wyżej cyklu 37 publikacji, 5 publikacji było cytowanych przez innych autorów. Cytowane publikacje cyklu wraz z listą publikacji cytujących przedstawiono w poniższej tabeli.

Nr	Publikacja cytowana	Liczba cytowań
	Lista publikacji cytujących	
19.	Sowa A. W., Markowska R., Augustyniak L.: „Podział prądu piorunowego w urządzeniach piorunochronnych obiektów budowlanych” [„Lightning current distribution in lightning protection systems of structures”]; Przegląd Elektrotechniczny; R. 84, nr 10/2008; s. 263–265.	1
	Sowa A.: „Analysis of separation distances between LPS and devices on the building roof”; Przegląd Elektrotechniczny; R. 86, nr 3/2010; s. 78–80.	
40.	Markowska R.: „Analysis of lightning electromagnetic exposures in building electrical installation with SPD” [„Analiza elektromagnetycznych narażeń piorunowych w instalacji elektrycznej budynku wyposażonej w SPD”]; Przegląd Elektrotechniczny; R. 86, nr 3/2010; s. 48–50.	1
	Wiater J.: „Step voltage nearby tree for surge current excitation”; Przegląd Elektrotechniczny; R. 88, nr 9b/2012; s. 280–281.	
41.	Markowska R.: „Narażenia powstające w instalacji elektrycznej podczas wyładowania piorunowego w maszt stacji bazowej GSM zlokalizowanej na dachu obiektu budowlanego” [„Exposures in electrical installation during direct lightning strike to an antenna mast of a GSM base station located on a building roof”]; Przegląd Elektrotechniczny; R. 86, nr 3/2010; s. 140–142.	1
	Sowa A.: „Generators for test of SPD restrictive dangerous caused by lightning current”; Przegląd Elektrotechniczny; R. 88, nr 2/2012; s. 57–59.	
42.	Markowska R.: „Przepięcia w okablowaniu dużego obiektu budowlanego podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego” [„Overvoltages in cable systems of large building during direct lightning stroke”]; Przegląd Elektrotechniczny; R. 86, nr 3/2010; s. 143–145.	1
	Wiater J.: „New approach to lightning hazard risk and damage approximation”; Przegląd Elektrotechniczny; R. 88, nr 2/2012; s. 76–78.	
51.	Markowska R., Sowa A., Wiater J.: „Measurements of surge currents and potentials in a radio base station for estimation of lightning threat”; Elektronika ir Elektrotechnika [Electronics and Electrical Engineering]; Vol. 107, no 1, 2011; Technologija Kaunas; pp. 93–98.	3
	Cetin E., Yilanci A., Ozturk H. K., Uckan G., Hekim M., Colak M., Icli S.: „Lightning protection for buildings energized by renewable energy sources”; Elektronika ir Elektrotechnika [Electronics and Electrical Engineering]; Vol. 112, no 6, 2011; pp. 7–10.	
	Gudzius S., Karaliute U., Markevicius L. A., Morkvenas A., Miliune R.: „Fast earth fault location by analysing the character of the initial processes”; Elektronika ir Elektrotechnika [Electronics and Electrical Engineering]; Vol. 111, no 5, 2011; pp. 55–58.	
	Gudzius S., Markevicius L. A., Morkvenas A.: „Characteristics of fault detection system for smart grid distribution network”; Elektronika ir Elektrotechnika [Electronics and Electrical Engineering]; Vol. 112, no 6, 2011; pp. 123–126.	

c) Omówienie celu naukowego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Doziemne wyładowanie piorunowe jest najpowszechniej występującym i najważniejszym naturalnym źródłem zaburzeń elektromagnetycznych, które może powodować zakłócenia lub zniszczenia urządzeń i systemów elektrycznych i elektronicznych pracujących w obiektach budowlanych. Wprowadzenie skutecznych rozwiązań ochrony przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym wymaga przeprowadzenia analizy i oceny zagrożeń piorunowych występujących w obiekcie budowlanym, biorąc pod uwagę charakterystyki i cechy lokalizacyjne tego obiektu oraz jego zawartość.

Rozwój nowoczesnych systemów elektrycznych i elektronicznych oraz wprowadzanie nowych technologii powodują, że zmieniają się charakterystyki oraz wrażliwość (podatność) zarówno samych konstrukcji obiektów budowlanych jak i pracujących w nich systemów elektrycznych i elektronicznych na zaburzenia impulsowe. Równolegle, obserwuje się znaczny postęp w opracowywaniu zaleceń i procedur dotyczących analizy zagrożeń piorunowych oraz ochrony odgromowej obiektów budowlanych i ochrony przepięciowej urządzeń i instalacji w tych obiektach. Efektem powyższych działań jest wprowadzanie coraz doskonalszych rozwiązań w dziedzinie ograniczania przepięć oraz nowych wymagań w normach ochrony odgromowej obiektów budowlanych i w normach pokrewnych. Pomimo tego postępu, wiele kwestii dotyczących zarówno analizy i oceny zagrożeń piorunowych jak i ochrony odgromowej i przepięciowej wymaga dopracowania, unowocześnienia lub dostosowania do zmieniających się warunków. Pojawiają się również lub są unowocześniane narzędzia, których wykorzystanie może zwiększyć efektywność i skuteczność metod analizy zagrożeń oraz środków ochrony odgromowej i przepięciowej.

Prowadzone przez habilitantkę prace miały na celu weryfikację istniejących i/lub opracowanie nowych sposobów analizy i oceny zagrożeń piorunowych oraz metod ochrony przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym w różnorodnych obiektach budowlanych, przy wykorzystaniu nowoczesnych zaawansowanych narzędzi i metod numerycznych oraz sprawdzonych, lecz unowocześnionych metod badań terenowych i laboratoryjnych. Prace dotyczyły przede wszystkim zagrożeń występujących podczas bezpośrednich wyładowań piorunowych w duże obiekty budowlane, w szczególności obiekty telekomunikacyjne.

Zastosowane metody badawcze

Do analiz teoretycznych prezentowanych w pracach 5, 7, 8, 12, 13, 15, 16, 19, 22, 24, 25, 28, 35, 36, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 49, 50, 55, 57, 58, 60, 62, 63 i 65, wykorzystywano m.in. specjalistyczne oprogramowanie pozwalające na prowadzenie obliczeń rozptyłów prądów i rozkładów potencjałów (skalnych i wektorowych) oraz natężeń pól elektrycznego i magnetycznego w cienko-przewodowych strukturach przewodzących nadziemnych i zakopanych oraz w otoczeniu tych struktur. Zaimplementowana w oprogramowaniu metoda obliczeń oparta jest na równaniach różniczkowo-całkowych teorii pola elektromagnetycznego, formułowanych w dziedzinie częstotliwości i rozwiązywanych numerycznie metodą momentów. Oprogramowanie pozwala na swobodne definiowanie parametrów elektrycznych poszczególnych przewodów układu, jak również struktury i parametrów elektrycznych ośrodka (powietrze, grunt). Pobudzenie może być zrealizowane za pomocą źródła napięciowego, prądowego lub fali elektromagnetycznej płaskiej. Takie podejście pozwala na przeprowa-

dzenie kompleksowej analizy niemal wszystkich zjawisk elektromagnetycznych związanych z doziemnym wyładowaniem piorunowym. Podstawowe wady tego oprogramowania to brak bezpośredniej możliwości prowadzenia analiz zjawisk i elementów nieliniowych oraz duże wymagania sprzętowe i długi czas wykonywania obliczeń.

Do analiz teoretycznych prezentowanych w pracach 40 i 44, wykorzystywano dodatkowo ogólnie dostępne oprogramowanie do prowadzenia obliczeń napięć, prądów i mocy w obwodach elektrycznych o stałych skupionych lub rozłożonych. Zaimplementowana w oprogramowaniu metoda obliczeń oparta jest o teorię obwodów i umożliwia prowadzenie obliczeń w dziedzinie częstotliwości lub w dziedzinie czasu, w tym obliczeń stanów nieustalonych oraz zjawisk i elementów nieliniowych. Do prowadzenia obliczeń nie są wymagane duże zasoby sprzętowe a obliczenia trwają krótko. Główną wadą oprogramowania jest brak bezpośredniej możliwości modelowania sprzężeń elektromagnetycznych pojemnościowych, indukcyjnych i promieniowanych pomiędzy poszczególnymi przewodami elektrycznymi łączącymi elementy obwodu.

Do badań narażeń udarowych i skuteczności ochrony przepięciowej prezentowanych w pracach 24, 31, 38, 40, 44, 46, 51, 61 i 65, wykorzystywano m.in. eksperymentalne symulacyjne metody pomiarowe. Prowadzono pomiary terenowe w rzeczywistych obiektach budowlanych i/lub pomiary laboratoryjne na modelach instalacji elektrycznych i sygnałowych stosowanych w różnego typu obiektach budowlanych. Część badań terenowych w rzeczywistych obiektach prowadzono podczas normalnej pracy urządzeń i systemów, co wymagało dokonania wstępnej analizy i odpowiedniego doboru parametrów narażeń udarowych symulujących warunki występujące podczas wyładowania piorunowego.

Przeprowadzone badania

Wykorzystując oprogramowanie oparte o metodę polową przeprowadzono kompleksowe, szczegółowe obliczenia i analizy zagrożeń związanych z bezpośrednim wyładowaniem pioruna w różnorodne obiekty budowlane. Poniżej przedstawiono szczegółowy opis tych badań.

Prace 7 i 13:

Badania obejmowały wyznaczenie przebiegów oraz ocenę poziomów prądów i napięć udarowych powstających w linii elektroenergetycznej niskiego napięcia zasilającej wolnostojącą stację bazową GSM (telefonii komórkowej) podczas bezpośredniego wyładowania pioruna w wieżę stacji. Rozważano przypadki odpowiadające pierwszemu i następnemu wyładowaniu głównemu w kanale wyładowania piorunowego (zgodnie z wymaganiami norm ochrony odgromowej dotyczącymi reprezentatywnych kształtów prądu pioruna) oraz różne wartości rezystancji obciążenia na obu końcach linii. Analizy te stanowiły kontynuację i rozszerzenie zakresu prac prowadzonych przed doktoratem, dotyczących analizy i oceny narażeń powstających podczas wyładowania pioruna w wieżę wolnostojącej stacji bazowej GSM.

W wyniku analiz stwierdzono, że do linii elektroenergetycznej niskiego napięcia przewodem ochronnym (PE) lub ochronno-neutralnym (PEN) może wpłynąć ok. 16 % prądu pierwszego głównego wyładowania piorunowego oraz ok. 29 % prądu fali padającej następnego wyładowania głównego (tj. ok. 14 % całkowitego prądu wyładowania następnego, uwzględniającego efekty zjawisk falowych). Dla prądów pierwszego i następnego wyładowania głównego o wartościach szczytowych odpowiednio 100 kA i 25 kA, przepięcia pomiędzy przewodami fazowym a ochronno-

neutralnym (L-PEN) otrzymane na końcach linii, tj. po stronie transformatora SN/nN i po stronie stacji GSM (przy jednakowej wartości obciążenia równej 50Ω), kształtowały się na poziomie odpowiednio 12-18 kV i 30-51 kV. Są to poziomy przekraczające udarowe napięcia wytrzymywane instalacji elektrycznej oraz typowych urządzeń elektrycznych i elektronicznych.

Prace 5 i 8:

Zakres badań obejmował wyznaczenie przebiegów oraz ocenę poziomów prądów i napięć udarowych powstających w oprzewodowaniu zasilającym i sygnałowym urządzeń systemów elektronicznych wewnątrz dużego obiektu telekomunikacyjnego złożonego z budynku i stojącej obok niego wieży antenowej, podczas bezpośredniego wyładowania pioruna w tę wieżę (pierwsze wyładowanie główne w kanale). Analizowano i porównano dwa różne rozwiązania urządzenia piorunochronnego (LPS – ang. Lightning Protection System) oraz systemu wyrównywania potencjałów wewnątrz budynku. Analizy te stanowiły kontynuację i dalsze rozwinięcie prac prowadzonych przed doktoratem.

W analizach zwrócono uwagę na to, jaka część prądu pioruna może wpłynąć do budynku przez ekrany koncentrycznych kabli antenowych lub falowodów. Wartość szczytowa całkowitego prądu wpływającego do budynku wynosiła ok. 4-7 % całkowitego prądu pioruna wpływającego do wieży. Wartości szczytowe prądów rozprzyskających się w oprzewodowaniu wewnątrz budynku nie przekraczały 3 % prądu pioruna. Wartości szczytowe przepięć powstających pomiędzy żyłami roboczymi tych samych przewodów sygnałowych lub zasilających na przyłączach urządzeń wewnątrz budynku nie przekroczyły ok. 1,5 kV. Przepięcia pomiędzy przewodami różnych instalacji na przyłączach urządzeń w budynku były wyższe i wynosiły od ok. 1 kV do 15 kV. Są to wartości porównywalne lub znacznie przekraczające poziomy udarowych napięć wytrzymywanych typowych urządzeń telekomunikacyjnych.

Prace 12 i 15:

Badania obejmowały wyznaczenie rozprysku prądu pioruna, reprezentującego następne wyładowanie główne, oraz analizę efektów zjawisk falowych związanych z rozpryskiem tego prądu w przewodzących elementach konstrukcji dużego obiektu budowlanego typu halowego trafionego przez wyładowanie piorunowe. Analizy te stanowiły rozszerzenie prac dotyczących modelowania matematycznego efektów zjawisk falowych związanych z rozpryskiem prądu pioruna, prowadzonych przed doktoratem.

Wyniki analiz wskazują, że istnieje możliwość wyznaczenia parametrów podstawowej fali padającej prądu pioruna docierającej do budynku z kanału wyładowania. Niestety, z powodu znacznej liczby składowych fal odbitych w różnych punktach budynku, nie było możliwe zidentyfikowanie i oszacowanie parametrów tych składowych oraz wartości współczynników odbicia. Analizy należałoby powtórzyć wielokrotnie, osobno dla poszczególnych elementów składowych konstrukcji obiektu oraz dla dłuższego przewodu reprezentującego kanał wyładowania piorunowego.

Praca 39:

Badania obejmowały wyznaczenie rozprysku prądu pioruna, reprezentującego następne wyładowanie główne, oraz analizę efektów zjawisk falowych związanych z rozpryskiem tego prądu w wolnostojącej stacji bazowej GSM podczas bezpośredniego wyładowania pioruna w wieżę antenową. W obliczeniach do reprezentacji wyładowania pioruna w wierzchołek wieży zastosowano idealne źródło napięcia, w odróżnieniu

od prac prowadzonych przed doktoratem, w których wykorzystywano idealne źródło prądu. Celem analiz było opracowanie reprezentacji wyładowania piorunowego, która we właściwy sposób uwzględniałaby naturalne efekty odbić fali prądu pioruna w miejscu zmiany impedancji charakterystycznej na granicy wieża - kanał wyładowania.

Opracowany model reprezentacji wyładowania pioruna z użyciem źródła napięciowego daje dobrą zgodność analitycznego opisu przebiegu prądu pioruna w wierzchołku wieży z przebiegiem prądu pioruna uzyskanym ze wstępnych obliczeń numerycznych przeprowadzonych w celu wyznaczenia współczynników odbicia. Jakościowo, zgodność ta była nawet lepsza niż uzyskana w wyniku wcześniejszych analiz z użyciem źródła prądu. Jednak wartości współczynników odbicia otrzymane w wyniku analiz bazujących na źródle napięciowym były o 10-25 % niższe w porównaniu z wynikami otrzymanymi dla źródła prądowego. Wydaje się, że przyczyn tych rozbieżności należy upatrywać w nierzeczywistym otwarciu obwodu prądu pioruna na szczycie przewodu reprezentującego kanał wyładowania oraz zależności współczynników odbicia od częstotliwości. Opracowany model reprezentacji wyładowania piorunowego z użyciem źródła napięcia umożliwia znaczne skrócenie czasu trwania obliczeń w porównaniu do modelu ze źródłem prądu.

Prace 16, 19, 22, 25, 35, 45, 49 i 50:

Badania obejmowały wyznaczenie rozpliwów prądu pioruna, reprezentującego pierwsze wyładowanie główne, w przewodach urządzeń piorunochronnych (LPS) lub w spełniających rolę LPS elementach konstrukcyjnych dużych obiektów budowlanych trafionych przez wyładowania piorunowe. W pracach analizowano wpływ rezystywności gruntu, rozwiązań systemu uziomowego i systemu wyrównywania potencjałów, sposobu modelowania i ułożenia kanału wyładowania piorunowego oraz wielkości budynku. Celem prowadzonych obliczeń była analiza zagrożeń związanych z przekrokami napięciowymi oraz ocena odstępów izolacyjnych (urządzeń i instalacji niskonapięciowych od elementów LPS) wymaganych zgodnie z zasadami obowiązujących norm ochrony odgromowej.

Wyniki przeprowadzonych analiz były porównywalne z wynikami obliczeń prowadzonych metodami bazującymi na teorii obwodów lub z wynikami laboratoryjnych badań modelowych. W niektórych przypadkach, pojawiały się pewne rozbieżności, które mogły być wynikiem różnych ograniczeń poszczególnych metod badawczych. Wydaje się celowe prowadzenie dalszych analiz porównawczych.

Prace 42, 49 i 62:

Badania obejmowały wyznaczenie przebiegów prądów i napięć udarowych powstających w oprzewodowaniu dużego obiektu budowlanego typu halowego podczas bezpośredniego wyładowania pioruna w ten obiekt. Obliczenia prowadzono dla prądu pioruna odpowiadającego pierwszemu wyładowaniu głównemu w kanale (zgodnie z wymaganiami norm ochrony odgromowej dotyczącymi reprezentatywnych kształtów prądu pioruna). Analizowano wpływ sposobu uziemienia oprzewodowania, różnych rozwiązań konstrukcyjnych obiektu i rozwiązań systemu wyrównywania potencjałów oraz rezystywności gruntu.

Wyniki obliczeń wskazują na możliwość wystąpienia – w długich obustronnie uziemionych układach przewodów – przepięć o wartościach szczytowych do kilku kilowoltów, które mogłyby powodować zakłócenia lub nawet zniszczenie wrażliwych urządzeń elektronicznych. Przepięcia indukowane w instalacjach sygnałowych niepołączonych z systemem uziemiającym były na poziomie kilku-kilkunastu woltów, mo-

gącym prowadzić jedynie do wystąpienia błędów w transmisji danych. Otrzymane wyniki obliczeń numerycznych przepięć indukowanych przez składowe promieniowane pola elektromagnetycznego porównano z wynikami obliczeń bazujących na wzorach analitycznych zawartych w zaleceniach obowiązujących norm ochrony odgromowej. W ten sposób dokonano częściowej weryfikacji szacunkowej metody obliczeń. W wielu przypadkach, wartości przepięć otrzymane metodą szacunkową ze wzorów analitycznych były niższe od wyznaczonych metodą numeryczną opartą na teorii pola. Dotyczy to w szczególności przypadku następnego wyładowania głównego, gdzie większą rolę odgrywają sprzężenia promieniowane i składowe wielkiej częstotliwości prądu.

Prace 24, 28, 36 i 41:

Badania obejmowały wyznaczenie rozplądów prądu pioruna (reprezentującego pierwsze wyładowanie główne) w LPS oraz w przewodach ochronnym (PE) lub ochronno-neutralnym (PEN) instalacji elektrycznej budynku podczas wyładowania pioruna w maszt antenowy stacji bazowej GSM zlokalizowanej na dachu tego budynku. Równolegle, wyznaczano przebiegi napięć udarowych występujących wewnątrz tego budynku pomiędzy przewodem PE instalacji zasilającej stację GSM na dachu a przewodami PE lub PEN instalacji elektrycznych zasilających inne urządzenia w tym budynku. W pracach analizowano wpływ rezystywności gruntu, lokalizacji masztów antenowych na dachu budynku i miejsca uderzenia pioruna (jeden z trzech masztów antenowych) oraz wpływ samej obecności stacji bazowej na dachu. Celem prowadzonych obliczeń była analiza zagrożeń związanych z przeskokami napięciowymi, a ostatecznie – ocena wymagań dotyczących stosowania odstępów izolacyjnych (urządzeń i instalacji niskonapięciowych od elementów LPS), pod kątem wyznaczonych poziomów narażeń napięciowych i zasad obowiązujących norm.

Wyniki obliczeń ujawniły, że ok. 10-12 % całkowitego prądu pioruna wpływającego do masztu odpływa przewodem PE lub PEN do stacji transformatorowej SN/nN, z której zasilany jest budynek. Jest to wartość porównywana z wynikami badań i analiz prezentowanymi przez innych autorów. Część prądu pioruna, która może wpływać do budynku przewodem PE instalacji zasilającej stację GSM z dachu wyniosła ok. 3-4 %. Prąd ten może wywołać spadek napięcia rzędu 75 kV na 25 m odcinku przewodu PE instalacji wewnątrz 4-kondygnacyjnego budynku oraz różnice napięć pomiędzy tym przewodem a przewodami PE instalacji zasilających inne urządzenia w budynku do ok. 12 kV przy odległości instalacji 50 cm lub do ok. 7 kV przy odległości 10 cm. Generalnie nie są to wartości, przy których należy spodziewać się zagrożeń związanych z rozwojem przeskoków iskrowych. Jednak należy wziąć pod uwagę fakt, że zagrożenie to może być wyższe przy prądzie pioruna o większej stromości narastania czoła oraz w przypadku wyższych obiektów budowlanych.

Wyniki analiz prezentowanych w pracach **16, 19, 22, 24, 25, 28, 35, 36, 41, 45, 49 i 50** wskazują ponadto, że informacja o rozplądzie prądu piorunowego nie zawsze daje wystarczającą bazę do oceny odstępów izolacyjnych. Podobne rozplądy prądu pioruna w LPS nie zawsze skutkują podobnymi wartościami różnic potencjałów w systemie uziomowym lub oprzewodowaniu.

Niżej przedstawiono szczegółowe opisy badań, dotyczących narażeń udarowych oraz skuteczności środków ochrony przepięciowej, prowadzonych z wykorzystaniem symulacyjnych metod pomiarowych.

Prace 31, 38, 46 i 51:

Przeprowadzono symulacyjne badania terenowe rozptyłów prądów udarowych w urządzeniach piorunochronnych, uziemionych przewodach instalacji elektrycznych i sygnałowych oraz uziemionych elementach konstrukcji następujących obiektów telekomunikacyjnych:

- dużego obiektu telekomunikacyjnego składającego się z dwukondygnacyjnego budynku i stojącej obok niego wieży antenowej;
- wolnostojącej stacji bazowej GSM składającej się z wieży antenowej i stojących obok niej kontenera i szaf z urządzeniami typu outdoor.

Źródłem prądu udarowego był hybrydowy generator udarowy (napięciowo-prądowy) dołączony do obiektu w taki sposób, aby odwzorować w przybliżeniu rozptyw prądu piorunowego w obiekcie podczas wyładowania w wieżę. Celem badań była analiza i ocena narażeń udarowych instalacji niskonapięciowych i urządzeń w obiektach telekomunikacyjnych, a w dalszej perspektywie – oszacowanie zagrożeń związanych z rozptywem prądów piorunowych poprzez wykonanie uzupełniających obliczeń i/lub analiz teoretycznych.

Prowadzone badania stanowiły kontynuację i dalsze rozszerzenie zakresu prac prowadzonych przed doktoratem, a dotyczących analizy i oceny narażeń udarowych powstających podczas wyładowania pioruna w wieżę wolnostojącej stacji bazowej GSM. W stosunku do wcześniejszych prac, zakres badań terenowych został poszerzony o stację GSM wyposażoną w dodatkowy outdoor umieszczony na stalowej platformie nośnej obok kontenera oraz o duży obiekt telekomunikacyjny z dwupiętrowym budynkiem. W zakresie sposobu prowadzenia badań, zostały one unowocześnione sprzętowo – lepsze parametry i charakterystyki sond i aparatury pomiarowej. Dodatkowo, do programu badań wprowadzono pomiary potencjałów względem ziemi odniesienia wybranych elementów LPS, uziemionych przewodów instalacji elektrycznych i sygnałowych oraz uziemionych elementów konstrukcji obiektów.

Na podstawie wyników badań terenowych opracowano tok postępowania, pozwalający na określenie zagrożeń piorunowych wybranych systemów elektronicznych w obiektach telekomunikacyjnych.

Praca 61:

Przeprowadzono badania laboratoryjne rozchodzenia się przepięć w modelu fizycznym instalacji elektrycznej obiektu budowlanego wyposażonej w wielostopniowe układy urządzeń do ograniczania przepięć (SPD – ang. Surge Protective Device). Badania uwzględniały reaktancyjny charakter modeli przyłączy zasilających typowych urządzeń elektrycznych AGD i RTV oraz obecność transformatora SN/nN w linii elektroenergetycznej doprowadzonej do budynku. Wyniki badań laboratoryjnych i symulacyjnych prezentowane przez innych autorów wskazują, że pomimo zastosowania układów SPD istnieje zagrożenie pojawienia się w przyłączach chronionych urządzeń elektrycznych przepięć o wartościach przekraczających udarowe napięcie wytrzymywane. Zapoczątkowane badania, prezentowane w pracy 61, miały na celu dokładne poznanie zjawisk związanych z działaniem wielostopniowych układów SPD w instalacjach elektrycznych różnych typów, a w dalszej perspektywie, opracowanie zasad stosowania układów SPD zapewniających pewną i efektywną ochronę urządzeń elektrycznych i elektronicznych przed przepięciami.

Otrzymane wyniki potwierdziły zależność kształtu i wartości szczytowej przepięć na przyłączach zasilania urządzeń elektrycznych chronionych za pomocą trójstop-

niowego systemu układów SPD od reaktancyjnego charakteru tych przyłączy. Pomimo tego, że wartości szczytowe zarejestrowanych przepięć nie przekroczyły dopuszczalnych poziomów udarowych napięć wytrzymywanych, wydaje się celowe prowadzenie dalszych szczegółowych badań laboratoryjnych i symulacyjnych dla innych systemów sieci i innych konfiguracji SPD oraz weryfikowanie wyników tych badań w rzeczywistych instalacjach obiektów budowlanych.

W dalszej części przedstawiono szczegółowe opisy badań, dotyczących metod oceny narażeń udarowych i piorunowych oraz skuteczności środków ochrony odgromowej i przepięciowej, prowadzonych z wykorzystaniem różnych narzędzi numerycznych, analiz teoretycznych i symulacyjnych metod pomiarowych.

Prace 24 i 65:

Przeprowadzono wyrywkowe badania laboratoryjne narażeń impulsowych powstających w zewnętrznym oprzewodowaniu zasilającym i sygnałowym stacji bazowej GSM typu outdoor (szafy umieszczone na platformie nośnej) wskutek przepływu prądu udarowego w konstrukcji platformy nośnej outdoor. Dokonano pomiarów przepięć na końcach różnych przewodów telekomunikacyjnych: 3-żyłowy (zasilanie AC), 2-żyłowy (zasilanie DC), skrętka ekranowana STP (Ethernet) i FTP (E1/PCM) oraz kabel koncentryczny (Radiolinia); nieobciążonych lub obciążonych rezystancjami o typowych wartościach 120 Ω , 100 Ω i 75 Ω .

Źródłem prądu udarowego doprowadzanego do platformy był hybrydowy generator udarowy (napięciowo-prądowy) dołączony w taki sposób, aby odwzorować w przybliżeniu rozptyw części prądu piorunowego w platformie podczas wyładowania w maszt antenowy. Celem badań była analiza i ocena narażeń impulsowych w przyłączach urządzeń telekomunikacyjnych umieszczonych w szafach outdoor, a w dalszej perspektywie, oszacowanie zagrożeń piorunowych poprzez wykonanie uzupełniających obliczeń i analiz teoretycznych.

Realizując ostateczny cel pomiarów, opracowano procedurę pozwalającą na ocenę narażeń urządzeń stacji bazowej GSM typu outdoor na dachu obiektu budowlanego, związanych z bezpośrednim wyładowaniem piorunowym w maszt antenowy (praca 65). Procedura ta łączy wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych oraz obliczeń numerycznych (z użyciem oprogramowania opartego na metodzie polowej) i analiz teoretycznych.

Wykorzystując tę procedurę, przeprowadzono ponadto (praca 65) uzupełniające, kilkietapowe szczegółowe obliczenia numeryczne rozptyłów prądów piorunowych oraz napięć udarowych powstających w LPS budynku i oprzewodowaniu stacji bazowej GSM typu outdoor na dachu tego budynku podczas wyładowania pioruna w maszt antenowy. W obliczeniach rozważano wpływ miejsca uderzenia pioruna (jeden z trzech masztów), lokalizacji masztów na dachu budynku oraz rezystywności gruntu. Opracowana procedura umożliwiła ostatecznie oszacowanie poziomów napięć i prądów udarowych występujących w oprzewodowaniu stacji GSM i ocenę zagrożenia przekroczenia poziomów odporności udarowej urządzeń telekomunikacyjnych oraz wybór środków ochrony w postaci urządzeń ograniczających przepięcia i ich podstawowych właściwości.

Prace 40 i 44:

Badania przedstawione w pracach dotyczyły metod i algorytmów modelowania numerycznego zjawisk elektromagnetycznych zachodzących w instalacji elektrycznej obiektu budowlanego wyposażonej w warystorowe ograniczniki przepięć, podczas

bezpośredniego wyładowania pioruna w LPS tego obiektu lub w doprowadzoną do niego zewnętrzną linię elektroenergetyczną. Celem badań była analiza i ocena możliwości takiego połączenia wspomnianych wyżej metod obliczeń numerycznych bazujących na teorii pola elektromagnetycznego i na teorii obwodów, aby wyeliminować podstawowe ograniczenia tych metod, tj. brak bezpośrednich możliwości analiz zjawisk nieliniowych przy prowadzeniu obliczeń w dziedzinie częstotliwości metodą polową oraz wszystkich sprzężeń elektromagnetycznych przy prowadzeniu obliczeń w dziedzinie czasu metodą obwodową. Przeprowadzone analizy numeryczne i teoretyczne zostały zweryfikowane na drodze pomiarów laboratoryjnych przeprowadzonych na modelu instalacji elektrycznej z warystorowym ogranicznikiem przepięć.

W wyniku przeprowadzonych badań opracowano kilkietapowy algorytm obliczeniowy pozwalający na połączenie ze sobą obliczeń prowadzonych w dziedzinie częstotliwości metodą polową i obliczeń w dziedzinie czasu metodą obwodową. W odniesieniu do rozważanego modelu instalacji elektrycznej, proponowane podejście umożliwiło jednocześnie uwzględnienie wszystkich rodzajów sprzężeń elektromagnetycznych pomiędzy poszczególnymi przewodami instalacji oraz zjawisk nieliniowych wynikających z działania warystora. O ile autorce wiadomo, proponowane oryginalne podejście nie było w tej dziedzinie wcześniej stosowane. Opracowany algorytm obliczeniowy daje obiecujące rezultaty dla prowadzenia dalszych analiz w tym kierunku, chociaż rozszerzenie zakresu obliczeń będzie wymagało większych zasobów sprzętowych i czasowych.

Prace 55, 57, 58, 60 i 63:

Prowadzono obliczenia numeryczne narażeń udarowych, związanych z rozwojem przeskoków napięciowych w miejscach niebezpiecznych zbliżeń urządzeń i instalacji systemów elektrycznych i elektronicznych do przewodów urządzenia piorunochronnego w dużych obiektach budowlanych trafionych przez wyładowania piorunowe. W następnych etapach, wykorzystując wyniki tych obliczeń, prowadzono dalsze obliczenia numeryczne i analizy teoretyczne odstępów izolacyjnych, wymaganych do zachowania w celu uniknięcia przeskoków napięciowych. Skupiono się na jednym z najgorszych możliwych przypadków, tj. wyładowaniu pioruna w dodatkowy zwód pionowy chroniący urządzenie elektryczne umieszczane na dachu obiektu budowlanego.

Zgodnie z zaleceniami obowiązujących norm ochrony odgromowej, wymagane odstępów izolacyjne można oszacować za pomocą prostych wzorów analitycznych, do czego konieczna jest jedynie znajomość spodziewanego rozptyłu prądu pioruna w urządzeniu piorunochronnym. Metoda ta nie uwzględnia jednak istotnych czynników, które mogą mieć wpływ na przebieg napięcia udarowego pomiędzy punktami rozważanego zbliżenia, będący intuicyjną miarą stopnia zagrożenia. Jednym z tych czynników jest rozkład potencjału w systemie uziomowym podczas rozpraszania prądu pioruna w ziemi (chwilowa wartość potencjału w różnych miejscach uziomu nie jest jednakowa). Metoda szacowania odstępów izolacyjnych zawarta w zaleceniach norm nie bierze pod uwagę różnicy potencjałów pomiędzy punktami uziomu, do których dołączono: przewód odprowadzający LPS stanowiący najkrótszą drogę od miejsca niebezpiecznego zbliżenia do uziomu oraz przewód ochronny lub uziemiający elementu urządzenia, instalacji lub systemu elektrycznego zagrożonego przeskokami napięciowymi w miejscu zbliżenia. Istnieje więc obawa, że stosowanie wymagań określonych powyższą metodą nie zawsze zapewni odpowiednią ochronę.

W związku z powyższym, podjęto badania (prace 55, 57, 58, 60 i 63) dotyczące alternatywnej metody, pozwalającej na wyznaczenie odstępów izolacyjnych wymaganych do celów ochrony odgromowej. Wykorzystano w tym celu znane z literatury *kryterium stałej powierzchni* (ang. *constant area criterion*), które uzależnia wystąpienie przeskoku iskrowego przy napięciu udarowym od osiągnięcia określonej wartości powierzchni zawartej pomiędzy przebiegiem napięcia udarowego a prostą poziomą o wartości statycznego napięcia przeskoku (DC). Dodatkowo, wykorzystano prezentowane w literaturze wyniki badań wysokonapięciowych zależności pomiędzy wielkością tej powierzchni, statycznym napięciem przeskoku i odległością pomiędzy elektrodami.

Dotychczas podejście to stosowane było przez różnych autorów do wyznaczania odległości przeskoku poprzez analityczne wyznaczenie wartości całki (rozważanej powierzchni), przy czym przebieg napięcia udarowego opisywano najczęściej w sposób uproszczony kształtem prostokątnym, trójkątnym lub trapezoidalnym. W pracach habilitantki, jako bazę dla kryterium stałej powierzchni przyjęto przebieg napięcia udarowego wyznaczony numerycznie za pomocą oprogramowania bazującego na teorii pola (jak opisywano wyżej) bez stosowania uproszczeń. W kolejnych krokach numerycznie obliczano wartości całki odpowiadające różnym wartościom statycznego napięcia przeskoku a zarazem i odległości przeskoku. Ostatecznie wartość odległości przeskoku znajdowano przez porównanie wyników tych obliczeń z prezentowanymi w literaturze wartościami całki (powierzchni), przy których występują przeskoki. W dalszej perspektywie przewiduje się zautomatyzowanie algorytmu obliczeniowego.

Zakładanymi efektami naukowymi i praktycznymi prowadzonych badań były:

- lepsze poznanie zjawisk elektromagnetycznych związanych z rozwojem przeskoków iskrowych podczas bezpośredniego wyładowania pioruna w obiekt budowlany;
- ocena możliwości zastosowania i rozwój metod numerycznych do celów szacowania odstępów izolacyjnych;
- opracowanie lepszej, bardziej adekwatnej metody szacowania odstępów izolacyjnych;
- porównanie i/lub ewentualna weryfikacja różnych metod oceny odstępów izolacyjnych do celów ochrony odgromowej w obiektach budowlanych.

Ostatecznym celem badań było opracowanie, na bazie otrzymanych wyników, prostej i praktycznej metody oceny odstępów izolacyjnych, a jednocześnie uwzględniającej wszystkie istotne czynniki mające wpływ na przebieg napięcia udarowego w miejscu zbliżenia, których nie uwzględnia metoda zawarta w zaleceniach norm.

Przeprowadzone badania (prace 55, 57, 58, 60 i 63) nie wyczerpały jeszcze zagadnienia w stopniu umożliwiającym dokonanie uogólnień dla osiągnięcia zakładanego ostatecznego celu. Do tej pory przeprowadzono wrywkowe analizy, które dotyczyły dwóch rodzajów obiektów budowlanych o różnych klasach urządzenia piorunochronnego i typach uziomów (A i B). W przypadkach tych analizowano wpływ rezystywności gruntu, lokalizacji chronionego urządzenia elektrycznego na dachu budynku, trasy prowadzenia przewodów instalacji elektrycznej w budynku oraz kształtu i wartości szczytowej fali prądu wyładowania piorunowego (kształtu i wartości szczytowej napięcia udarowego w miejscu zbliżenia).

W wyniku badań stwierdzono, że wszystkie wymienione czynniki mają istotny wpływ na wartość odległości, przy której występują przeskoki iskrowe. Stwierdzono ponadto, że we wszystkich analizowanych przypadkach, spośród rozważanych normatywnych przebiegów prądów głównego wyładowania piorunowego największe zagrożenie wiąże się ze składową reprezentującą pierwsze ujemne wyładowanie główne, tj. $1/200 \mu s$ (tymczasem, powszechne jest przekonanie, że za zagrożenie przeskokami iskrowymi odpowiedzialna jest składowa reprezentująca następne ujemne wyładowanie główne tj. $0,25/100 \mu s$). Porównanie otrzymanych wartości odległości przeskoku z wartościami odstępów izolacyjnych obliczanych zgodnie z zasadami zawartymi w normach ochrony odgromowej pokazuje, że normatywne wartości odstępów izolacyjnych często mogą być niewystarczające dla uniknięcia przeskoków napięciowych. Dotyczy to szczególnie przypadków obiektów położonych na terenach o wysokiej rezystywności gruntu.

Prace 37, 56, 59 i 65:

Jako uzupełnienie badań narażeń piorunowych i skuteczności ochrony przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym, przeprowadzono analizy i obliczenia ryzyka strat związanych z oddziaływaniem wyładowań piorunowych na różnorodne obiekty budowlane. Obliczenia prowadzono zgodnie z zaleceniami obowiązujących norm ochrony odgromowej. Celem analiz była ocena konieczności stosowania oraz określenie podstawowych właściwości urządzenia piorunochronnego i innych środków ochrony, wymaganych zgodnie z zaleceniami norm, do redukcji ryzyka strat piorunowych do poziomów dopuszczalnych. Przeprowadzono analizy ryzyka dla następujących obiektów budowlanych:

- niewielki jednorodzinny budynek mieszkalny;
- namiot przeznaczony do zorganizowania publicznej imprezy masowej;
- duża hala handlowa;
- duży obiekt telekomunikacyjny składający się z 3-kondygnacyjnego budynku i stojącej obok niego wieży antenowej;
- wysoki obiekt budowlany ze stacją bazową telefonii komórkowej typu outdoor na dachu.

Praca 65:

Szczególnym rodzajem obiektów budowlanych rozważanym w toku prac prowadzonych przez habilitantkę były obiekty radiokomunikacyjne. Znaczne zagrożenie piorunowe w tego rodzaju obiektach wiąże się z jednej strony z dużym ryzykiem bezpośrednich wyładowań piorunowych w wieże lub maszty antenowe, z drugiej strony, z obecnością wrażliwych systemów telekomunikacyjnych i pomocniczych (usługowych). Praca 65 stanowi syntetyczny zbiór najważniejszych wyników badań habilitantki dotyczących obiektów telekomunikacyjnych wyposażonych w wieże lub maszty antenowe. Szczegółowe opisy tych badań zostały przedstawione wyżej przy omawianiu poszczególnych publikacji.

Praca 65 jest dziełem wspólnym, którego następujące części zostały opracowane przez habilitantkę na podstawie informacji zaczerpniętych z literatury i wyników badań własnych:

- Rozdział 2 (str. 17 – 82);
- Część rozdziału 4 (str. 93 – 100);
- Część rozdziału 5 (str. 103 – 111);

- Część rozdziału 6 (str. 113 – 149);
- Część rozdziału 10 (str. 200 – 203, 217 – 226);
- Część rozdziału 11 (str. 242 – 248);
- Część rozdziału 13 (str. 273 – 277).

Praca uzyskała pozytywne recenzje (w załączeniu) i obecnie jest w fazie korekty autorskiej. Zostanie wydana w formie monografii przez Oficynę Wydawniczą Politechniki Białostockiej w 2013 roku.

Syntetyczne podsumowanie osiągnięcia

Na osiągnięcie habilitantki składają się następujące efekty:

1. Opracowanie modelu reprezentacji wyładowania pioruna w wieżę wolnostojącej stacji bazowej GSM związanego z następnym wyładowaniem głównym w kanale. Opracowana reprezentacja z użyciem źródła napięcia, uwzględnia naturalne efekty odbić fali prądu pioruna na granicy wieża-kanal wyładowania i umożliwia znaczne skrócenie czasu trwania obliczeń w porównaniu do opracowanego wcześniej modelu z użyciem źródła prądu.
2. Zastosowanie opracowanego wcześniej modelu reprezentacji wyładowania pioruna z użyciem źródła prądu do analizy efektów zjawisk falowych związanych z rozptyłem prądu pioruna w przewodzących elementach konstrukcji dużego obiektu budowlanego typu halowego. Zagadnienie wymaga prowadzenia dalszych analiz.
3. Ocena zagrożeń związanych z rozptyłem prądów piorunowych oraz poziomów narażeń impulsowych w postaci prądów i/lub napięć udarowych powstających:
 - w linii elektroenergetycznej niskiego napięcia zasilającej wolnostojącą stację bazową GSM podczas bezpośredniego wyładowania pioruna w wieżę stacji (pierwsze i następne wyładowania główne w kanale);
 - w urządzeniach piorunochronnych oraz oprzewodowaniu zasilającym i sygnałowym urządzeń i systemów elektronicznych w dużym obiekcie telekomunikacyjnym złożonym z budynku i stojącej obok niego wieży antenowej, podczas bezpośredniego wyładowania w tę wieżę (pierwsze wyładowanie główne w kanale);
 - w urządzeniach piorunochronnych oraz oprzewodowaniu dużego obiektu budowlanego typu halowego podczas bezpośredniego wyładowania pioruna w ten obiekt (pierwsze wyładowanie główne);
 - w urządzeniu piorunochronnym oraz pomiędzy przewodami PE lub PEN instalacji elektrycznych wewnątrz dużego obiektu budowlanego ze stacją bazową GSM typu outdoor na dachu, podczas bezpośredniego wyładowania pioruna w maszt antenowy stacji (pierwsze wyładowanie główne).
4. Ocena poziomu narażeń impulsowych w postaci rozptywu prądów udarowych w urządzeniu piorunochronnym, uziemionych przewodach instalacji elektrycznych i sygnałowych oraz uziemionych elementach konstrukcji następujących obiektów telekomunikacyjnych:
 - dużego obiektu telekomunikacyjnego składającego się z budynku i stojącej obok niego wieży antenowej;

- wolnostojącej stacji bazowej GSM składającej się z wieży antenowej i stojących obok niej kontenera i szaf z urządzeniami typu outdoor.
5. Ocena poziomu narażeń impulsowych w postaci przebiegów rozchodzących się w modelu instalacji elektrycznej obiektu budowlanego wyposażonej w wielostopniowe układy SPD, z uwzględnieniem reaktancyjnego charakteru przyłączy zasilających urządzeń elektrycznych AGD/RTV oraz obecności transformatora SN/nN w zewnętrznej linii elektroenergetycznej.
 6. Ocena narażeń impulsowych związanych z rozplwów prądów piorunowych w LPS budynku oraz w zewnętrznym oprzewodowaniu zasilającym i sygnałowym stacji bazowej GSM typu outdoor zlokalizowanej na dachu tego budynku podczas wyładowania pioruna w maszt antenowy. Opracowana procedura, łącząca badania laboratoryjne i obliczenia numeryczne, umożliwiła oszacowanie poziomów napięć i prądów udarowych w oprzewodowaniu stacji GSM i ocenę zagrożenia przekroczenia poziomów odporności udarowej urządzeń telekomunikacyjnych oraz wybór środków ochrony i ich podstawowych właściwości.
 7. Opracowanie algorytmu obliczeniowego do celów analiz numerycznych zjawisk elektromagnetycznych zachodzących w instalacji elektrycznej obiektu budowlanego wyposażonej w warystorowe ograniczniki przepięć, podczas wyładowania pioruna w LPS lub w zewnętrzną linię elektroenergetyczną doprowadzoną do tego obiektu. Poprzez połączenie obliczeń prowadzonych w dziedzinie częstotliwości metodą polową i obliczeń w dziedzinie czasu metodą obwodową, algorytm umożliwił jednocześnie uwzględnienie wszystkich rodzajów sprzężeń elektromagnetycznych pomiędzy przewodami instalacji elektrycznej oraz zjawisk nieliniowych wynikających z działania warystora.
 8. Zastosowanie *kryterium stałej powierzchni* oraz prezentowanych w literaturze wyników pomiarów wysokonapięciowych, do badań nad rozwojem alternatywnej metody wyznaczania odstępów izolacyjnych do celów ochrony odgromowej w obiektach budowlanych. Opracowanie algorytmu obliczeniowego, pozwalającego na dokładne, numeryczne wyznaczenie odległości, przy której może wystąpić przeskok napięciowy. Ocena narażeń impulsowych związanych z rozwojem przeskoków napięciowych pomiędzy LPS a urządzeniami elektrycznymi na dachach dużych obiektów budowlanych.
 9. Ocena konieczności stosowania oraz określenie podstawowych właściwości LPS i innych środków ochrony wymaganych, zgodnie z zaleceniami norm, do redukcji ryzyka strat piorunowych do poziomów dopuszczalnych, dla następujących obiektów budowlanych:
 - domek jednorodzinny;
 - namiot publicznej imprezy masowej;
 - duża hala handlowa;
 - duży obiekt telekomunikacyjny typu wieża - budynek;
 - wysoki budynek ze stacją bazową telefonii komórkowej typu outdoor na dachu.

* w przypadku, gdy, osiągnięciem tym jest praca/prace wspólne, należy przedstawić oświadczenia wszystkich jej współautorów, określające indywidualny wkład każdego z nich w jej powstanie

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.

Pracę na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej habilitantka rozpoczęła od kontynuacji tematu pracy magisterskiej, dotyczącego systemów łączności z widmem rozproszonym (1998–1999). Systemy takie cechuje między innymi znacznie mniejsza, w porównaniu do innych systemów łączności radiowej, wrażliwość na zaburzenia, szczególnie szumowe, szerokopasmowe. Pierwotnym celem tych prac była ocena działania takich lub podobnych systemów łączności radiowej w środowisku o znacznym poziomie zaburzeń impulsowych, jakim jest stacja elektroenergetyczna.

Naturalną konsekwencją tych prac było zainteresowanie tematyką impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych. W latach 1999–2001 habilitantka prowadziła badania dotyczące narażeń występujących w stacjach elektroenergetycznych i efektów ich oddziaływania na pracę elektronicznych urządzeń kontrolno-pomiarowych. Początkowo badania te dotyczyły oddziaływań nieniszczących, powodujących jedynie zakłócenia pracy, jednak szybko zakres badań został rozszerzony na zaburzenia, które mogą powodować także zniszczenie wrażliwych urządzeń i systemów elektronicznych. Część z tych prac było prowadzonych w ramach indywidualnego grantu (2000–2001) finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

Prowadząc analizy dotyczące zagrożeń piorunowych związanych z rozkładami potencjałów w systemach uziomowych stacji elektroenergetycznych, zwrócono szczególną uwagę na przypadki trafienia wyładowania w najwyższe punkty obiektów, którymi najczęściej były wieże lub maszty systemów łączności radiowej. Równolegle prowadzono analizy i obliczenia numeryczne chwilowych rozkładów potencjałów w systemach uziomowych obiektów radiokomunikacyjnych podczas wyładowań piorunowych w wieże antenowe.

Efektem wyżej wymienionych prac było 12 publikacji w materiałach konferencyjnych (samodzielnych lub wspólnych) i 2 publikacje w czasopiśmie *Elektroinstalator* (habilitantka była współautorką).

W latach 2002–2006 habilitantka skupiła się na prowadzeniu badań dotyczących kompleksowej analizy i oceny zagrożeń piorunowych w obiektach radiokomunikacyjnych. W ramach tych prac prowadziła badania terenowe i analizy numeryczne zmierzające do opracowania procedury postępowania, która pozwalałaby na ocenę poziomów narażeń piorunowych występujących w przyłączach urządzeń elektrycznych i elektronicznych obiektu radiokomunikacyjnego podczas bezpośredniego wyładowania pioruna w wieżę antenową. Rezultaty tych prac stanowiły podstawę opracowania rozprawy doktorskiej pt. *Analiza zagrożenia piorunowego urządzeń w obiektach radiokomunikacyjnych*; Politechnika Białostocka, Białystok 2006.

W rozprawie wykazano, że w przypadku niewielkich, wolnostojących obiektów radiokomunikacyjnych (takich jak stacje bazowe telefonii komórkowej), połączenie eksperymentalnych badań terenowych i zaawansowanych analiz numerycznych pozwala z zadawalającym przybliżeniem ocenić poziom zagrożenia urządzeń elektrycznych i elektronicznych podczas bezpośredniego wyładowania pioruna w wieżę antenową. Uwzględnione zostały przy tym wszystkie najistotniejsze liniowe zjawiska elektromagnetyczne, które mogą zachodzić w obiekcie podczas bezpośredniego wyładowania pioruna, tj. sprzężenia rezystancyjne, indukcyjne, pojemnościowe i promieniowane, chwilowy rozkład potencjału w uziemiu oraz efekty zjawisk falowych towarzyszących rozprzeczowi prądu pioruna. Zastosowane metody analiz wzajemnie

się uzupełniają i dają możliwość weryfikacji. Opracowane wytyczne, dotyczące reprezentacji obiektu w modelu numerycznym, umożliwiają ocenę zagrożenia piorunowego urządzeń i tworzenie optymalnych rozwiązań ochrony wyłącznie na bazie analiz numerycznych.

Badania prowadzone w latach 2002–2006 dały również efekt w postaci 21 publikacji w materiałach konferencyjnych, które zostały wydane przed uzyskaniem stopnia doktora (2002–2006). Dodatkowo, badania te przyczyniły się do powstania, w całości lub w części, 14 publikacji wydanych po uzyskaniu stopnia doktora (patrz wykaz opublikowanych prac – załącznik 3A – prace nr 1, 2, 3, 4, 6, 9, 10, 11, 17, 18, 32, 43, 64 i 65).

Po uzyskaniu stopnia doktora (od roku 2007) habilitantka kontynuowała badania dotyczące analizy zagrożeń stwarzanych przez bezpośrednie wyładowania piorunowe. W obszarze szczególnego zainteresowania pozostały nadal obiekty radiokomunikacyjne, jednak zakres został rozszerzony również na inne obiekty budowlane. Dodatkowo, w obszarze badań habilitantki znalazły się zagadnienia ochrony odgromowej i ochrony przepięciowej w obiektach budowlanych. Rezultaty prac prowadzonych w powyższych obszarach badań w odniesieniu do obiektów radiokomunikacyjnych i obiektów budowlanych, jako wchodzące w skład osiągnięcia naukowego, opisano szczegółowo w pkt 4 c).

Pozostałe (nie opisane w pkt 4 c) osiągnięcia habilitantki od roku 2007, przedstawiają mniej istotny jej wkład w zagadnienia analizy i oceny zagrożeń piorunowych oraz ochrony odgromowej i przepięciowej. Obejmują one:

- Udział w prezentacji zagadnień i problemów dotyczących badań elementów urządzeń piorunochronnych zewnętrznych i wewnętrznych, zgodnie z obowiązującymi przepisami i wymaganiami norm (praca 14);
- Udział w badaniach i przygotowaniu publikacji dotyczącej symulacyjnych badań terenowych zagrożeń związanych z bezpośrednim wyładowaniem pioruna w urządzenia stacji wysokich napięć (praca 20);
- Udział w przeprowadzeniu analiz numerycznych i przygotowanie publikacji z zakresu zagrożenia porażeniowego napięciami dotykowymi i krokowymi osób znajdujących się na terenie wolnostojącej stacji bazowej telefonii komórkowej podczas wyładowania pioruna w wieżę antenową (praca 21);
- Udział w przygotowaniu publikacji dotyczącej analizy i oceny narażeń piorunowych w przyłączach systemów kontrolno-pomiarowych stacji wysokich napięć (praca 23);
- Udział w przygotowaniu publikacji przedstawiającej wyniki symulacyjnych badań i pomiarów przepięć indukowanych w okablowaniu strukturalnym obiektu budowlanego (praca 26);
- Udział w prezentacji problemów i przykładów dotyczących kompleksowej ochrony odgromowej w obiektach budowlanych, zgodnie z obowiązującymi przepisami, wymaganiami norm krajowych i międzynarodowych oraz zasadami „dobrych praktyk”. Udział habilitantki polegał na zaplanowaniu, opracowaniu przykładów i wykonaniu obliczeń teoretycznych dotyczących analizy ryzyka powstawania szkód piorunowych (praca 27);

- Udział w przygotowaniu publikacji dotyczącej poziomów i przebiegów natężeń impulsowych pól elektrycznego i magnetycznego w stacji elektroenergetycznej wysokich napięć podczas bezpośredniego wyładowania pioruna (praca 48);
- Udział w prezentacji problemów i przykładów dotyczących metod ograniczania przepięć w instalacjach obiektów budowlanych, zgodnie z obowiązującymi przepisami, wymaganiami norm krajowych i międzynarodowych oraz zasadami „dobrych praktyk”. Udział habilitantki polegał na częściowym przygotowaniu i opracowaniu materiałów i przykładów do rozdziałów 2, 9 i 10 (praca 52).

Na łączny dorobek habilitantki (od początku zatrudnienia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej) składa się 101 publikacji, w tym: 1 rozprawa doktorska, 3 monografie, 9 publikacji w czasopismach znajdujących się z bazie JCR (Journal Citation Reports), 17 publikacji w zeszytach naukowych i czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR oraz 71 publikacji w materiałach konferencyjnych.

Łączna liczba punktów za monografie i artykuły w czasopismach znajdujących się w wykazie MNiSW zgodnie z rokiem opublikowania, przyznana habilitantce wg wewnętrznych zasad zatwierdzonych przez Senat Politechniki Białostockiej (od 2007 roku), wynosi 204,5.



.....
Podpis Habilitanta