



Ochrona odgromowa i przepięciowa w elektrowniach wiatrowych. Część II.

Andrzej Sowa

W publikacji „**Ochrona odgromowa elektrowni wiatrowych. Część 1. Zagrożenie piorunowe**” przedstawiono ogólne zasady oceny zagrożenia piorunowego elektrowni wiatrowych. Otrzymane wyniki wskazywały na konieczność doboru rozwiązań urządzenia piorunochronnego i układów ograniczających przepięcia spełniających warunki wynikające z wymagań I poziomu ochrony odgromowej. Wyznaczenie powyższego poziomu ochrony wynikało z przyjęcia akceptowalnej częstości wyładowań N_c wynoszącej 10^{-3} .

W przypadku przyjęcia innej wartości N_c należy dokonać przeliczeń przedstawionych w normie **PN-IEC 61024-1-1** [10]. O istnieniu takiej możliwości może świadczyć fakt przyjmowania w zaleceniach Niemieckich Towarzystw Ubezpieczeniowych II poziomu ochrony dla elektrowni wiatrowych o wysokości ponad 60 m [6].

Obecnie przedstawione zostaną ogólne zasady tworzenia zewnętrznego urządzenia piorunochronnego elektrowni wiatrowej oraz wewnętrznej ochrony odgromowej i przepięciowej urządzeń w niej pracujących.

Na ich podstawie można opracować, uwzględniając indywidualne rozwiązania konstrukcyjne elektrowni i odporność udarową zainstalowanych urządzeń, szczegółowe rozwiązania dla konkretnej elektrowni wiatrowej.

Zewnętrzne urządzenie piorunochronne

Urządzenie piorunochronne elektrowni wiatrowej powinno bezpiecznie dla samego obiektu i pracujących wewnątrz urządzeń od

prowadzić do ziemi prąd piorunowy podczas bezpośredniego wyładowania.

W pierwszym etapie projektowania urządzenia piorunochronnego należy określić miejsca zagrożone bezpośrednim uderzeniem piorunu. Do tego celu, zgodnie z zaleceniami zawartymi w normie **PN-IEC 61024-1** [9], należy zastosować zasadę toczącej się kuli.

W przypadku oceny miejsc bezpośrednich uderzeń dla zapewnienia I poziomu ochrony należy wykorzystywać kulę o promieniu 20m. Przykład takiego postępowania przedstawia rys. 1. Przyjmując inny poziom ochrony odgromowej należy wybrać odpowiedni promień kuli (tablica 1).

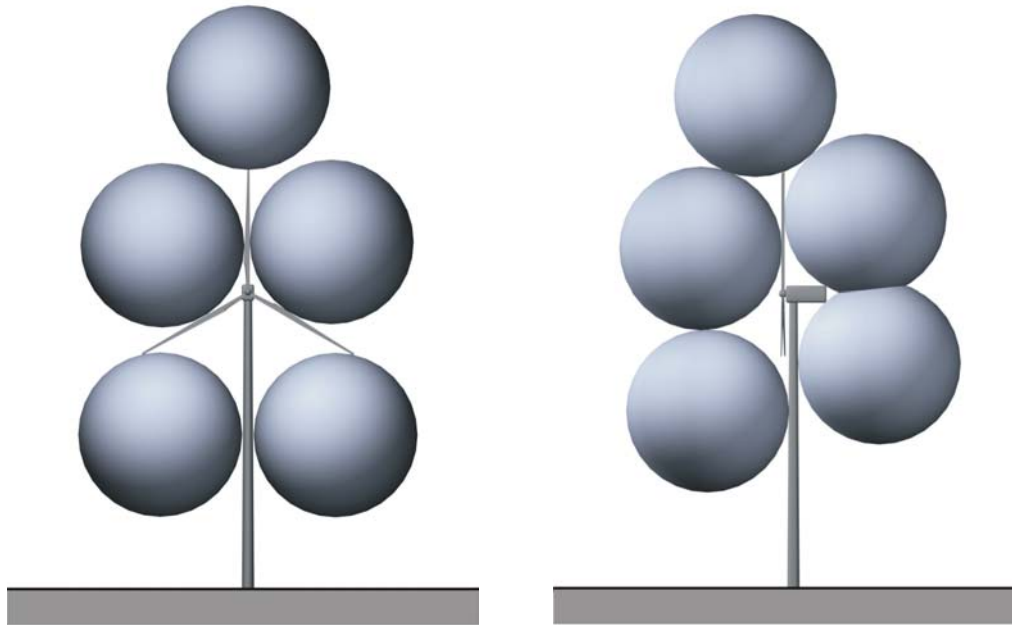
W tablicy 1 przedstawiono dodatkowo wartości kątów ochronnych, które są wymagane jeśli do oceny zagrożenia zostanie wykorzystana klasyczna metoda wyznaczania miejsc bezpośredniego trafienia analizowanego obiektu.

Zastosowanie przedstawionej zasady toczącej się kuli umożliwia wyznaczenie podstawowych stref ochrony odgromowej 0_A i 0_B , które w dalszej części artykułu oznaczane będą zaleceniami norm [9,10], jako **LPZ 0_A** i **LPZ 0_B** (ang. **Lightning Protection Zones**).

Strefa ochrony odgromowej 0_A

Strefę 0_A wyznaczają miejsca dotykane są przez kulę toczącą się przy elektrowni wiatrowej. W miejsca te może nastąpić bezpośrednie uderzenie piorunu i wynikający z tego faktu zagrożenia stwarzane przez:

- przepływ prądu piorunowego,
- bezpośrednie oddziaływania nietłumionego impulsowego pola elektromagnetycznego.



Rys. 1. Zasada wyznaczania miejsc zagrożonych bezpośrednim uderzeniem piorunu.

Tablica 1. Wartości podstawowych parametrów charakteryzujących właściwości ochronne zwozdów na dachu obiektu.

Poziom ochrony	R	h	20m	30m	45m	60m
		$\alpha [^\circ]$				
I	20m	25	--	--	--	--
II	30m	35	25	--	--	--
III	45m	45	35	25	--	--
IV	60m	55	45	35	25	25

Zagrożone bezpośrednim uderzeniem są łopaty skrzydeł, elementy konstrukcyjne gondoli lub wieży oraz zewnętrzne urządzenia elektryczne lub elektroniczne (np. czujniki do pomiaru prędkości wiatru, oświetlenie pozycyjne).

Wartości podstawowych parametrów charakteryzujących prąd piorunowy występujący w strefie 0_A dla I lub II poziomu ochrony odgromowej zestawiono w tablicy 2.

W strefie 0_A wartości szczytowe natężeń pól elektrycznego i magnetycznego osiągają poziomy:

- natężenie pola elektrycznego **500 kV/m.**,
- natężenie pola magnetycznego **10 kA/m.**

Strefa ochrony odgromowej 0_B .

Elementy konstrukcyjne lub urządzenia pracujące w tej strefie nie są zagrożone bezpośrednim uderzeniem piorunu (miejsca niedotykane przez toczącą się kulę) lecz są narażone na bezpośrednie oddziaływanie pola elektromagnetycznego wywołanego przez prąd piorunowy, analogicznego jak w strefie 0_A .

Tablica 2. Wartości podstawowych parametrów charakteryzujących prąd piorunowy dla I i II poziomu ochrony.

Parametr	I poziom ochrony	II poziom ochrony
Pierwsze wyładowanie główne w kanale		
Wartość szczytowa prądu	200 kA	150 kA
Kształt prądu	10/350 μs	10/350 μs
Ładunek impulsowy	100 C	75 C
Szybkość narastania	20 kA/μs	15 kA/μs
Energia właściwa	10 000 kJ/Ω	5 600kJ/Ω
Kolejne wyładowanie główne w kanale		
Wartość szczytowa prądu	50 kA	37,5 kA
Kształt prądu	0,25/100 μs	0,25/100 μs
Szybkość narastania	200 kA/μs	150 kA/μs
Długotrwała składowa prądu		
Wartość szczytowa prądu	400 A	300 A
Czas trwania	0,5 sek.	0,5 sek.

Impulsowe pole elektromagnetyczne indukuje w układach przewodów ułożonych w tej strefie udary napięciowe/prądowe, których sugerowane [7] wartości szczytowe wynoszą:

- w sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia **10 kV**,
- w liniach transmisji sygnałów **6 kV**,

Udary prądowe powstające w strefie 0_B charakteryzowane są czasem narastania czoła równym 8 μ s i czasem trwania do półszczytu na grzbiecie udaru wynoszącym 20 μ s. Na działanie takich impulsów narażone są urządzenia:

- pozbawione własnych ekranów chroniących przed polem elektromagnetycznym (np. metalowe osłony, obudowy),
- niezabezpieczone przed udarami napięciowymi i prądowymi.

Wyznaczenie stref 0_A i 0_B umożliwia sprawdzenie czy:

- zastosowane materiały i ich połączenia wytrzymają bezpośrednio uderzenie piorunu,
- istnieje możliwość bezpiecznego odprowadzenia do ziemi prądu piorunowego,

- w strefie 0_A znajdują się urządzenia elektryczne i elektroniczne.

W większości elektrowni wiatrowych gondola i wieża wykonane są z materiałów przewodzących (konstrukcje stalowe lub żelbetowe) i nie są wymagane dodatkowe zwody i przewody odprowadzające.

W przypadku gondoli wykonanej z materiałów nieprzewodzących lub stwierdzenia nieciągłości drogi prądu piorunowego należy uzupełnić naturalne urządzenie piorunochronne.

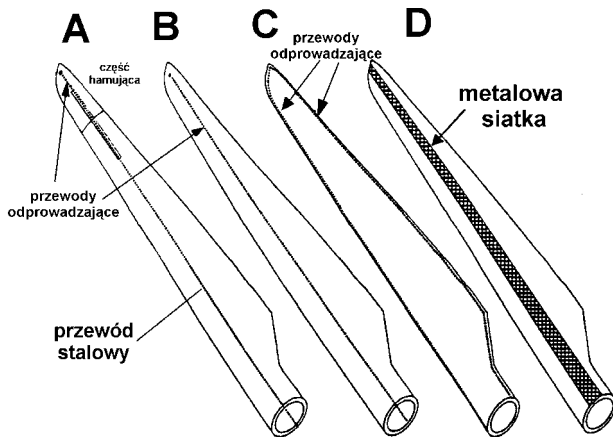
Urządzenia elektryczne i elektroniczne znajdujące się na gondoli powinny znajdować się w strefie ochronnej zwodów pionowych lub poziomych.

Obserwacje prowadzone w rzeczywistych obiektach wskazują na częste wyładowania w łopaty wirników.

Są to najczęściej układy dwu- lub trój-płatowe wykonane z materiałów nieprzewodzących (włókno szklane wzmocnione poliestrem lub włókno węglowe). W takich układach przewodzenie może wynikać z lokalnego zawilgoceń np. miejsc klejenia płatów i przepływ prądu piorunowego o znacznej amplitudzie po-

woduje najczęściej uszkodzenia punktowe lub całkowite zniszczenie łopat wirnika.

Ochroną przed tego typu zagrożeniem jest zapewnienie przewodzącej drogi od końców łopat do piasty. Przykłady zalecanych przez normę [13] i najczęściej stosowanych rozwiązań przedstawia rys. 2.



Rys.2. Różnorodne rozwiązania połączeń do odprowadzanie prądów piorunowych

Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest jeden lub dwa przewody odprowadzające oraz metalowa siatka (przypadki B,C i D).

W przypadku wykorzystywania części łopaty do hamowania ruchu wirnika, do odprowadzania prądu piorunowego wykorzystywane są przewody odprowadzające (najczęściej miedziane) umieszczone na części ruchomej oraz stalowe przewody wykorzystywane do zmian ułożenia tej części łopaty.

Również wewnątrz elektrowni wiatrowej należy, postępując zgodnie z zasadami strefowej koncepcji ochrony, stworzyć kolejne strefy oznaczane odpowiednio jako **LPZ 1** i **LPZ 2**.

Przejście z **LPZ 0_A** lub **LPZ 0_B** do **LPZ 1** wymaga:

- tłumienia pola elektromagnetycznego (np. doprowadzając do odpowiedniego rozprzężenia prądu piorunowego w urządzeniu piorunochronnym),
- zastosowania ograniczników przepięć w instalacji elektrycznej i liniach przesyłu sygnałów.

Ochrona przed przepięciami w instalacji elektrycznej

W instalacji elektrycznej w elektrowni wiatrowej przejście do strefy 1 należy zastosować ograniczniki przepięć spełniające zalecenia wynikające z wymagań badań klasy 1 (w dalszej części nazywane będą ogranicznikami klasy I).

Ograniczniki klasy I powinny zapewnić ochronę przed bezpośrednim działaniem prądu piorunowego i ograniczać przepięcia do poziomu poniżej wytrzymałości udarowej kategorii IV [14].

Bezpieczne zasilanie większości urządzeń elektrycznych i elektronicznych wymaga dalszego ograniczania przepięć i stosowania kolejnych stopni ochrony składających się z układów ograniczników przepięć klasy II ograniczających przepięcia do poziomu poniżej wytrzymałości udarowej kategorii I [14].

Dobierając ograniczniki przepięć klasy I i II należy uwzględnić następujące warunki:

- instalacja elektryczna w elektrowni wiatrowej od generatora do stacji transformatorowej wykonywana jest najczęściej na napięcie 400/690V w systemach sieci TN i IT,
- instalacja elektryczna zasilająca urządzenia elektroniczne jest na napięcie 230/400V.

Wymagane napięcia wytrzymałowe dla znamionowych napięć stosowanych instalacji w elektrowniach wiatrowych zestawiono w tablicy 3.

Zacienione wartości w tablicy 3 odpowiadają poziomom wytrzymałości udarowej kategorii IV i I dla napięć 230/400 V i 400/690 V.

Ogólny schemat systemu ograniczania przepięć w typowej instalacji elektrycznej w elektrowni wiatrowej przedstawiono na rys. 3.

W przypadku instalacji na napięcie 400/690 V w systemie sieci TN można zastosować ograniczniki na napięcie 440V.

Ochronę urządzeń elektronicznych zasilanych z sieci o napięciu 230/400 V zapewniają klasyczne ograniczniki klasy II.

Tablica 3. Wymagane znamionowe napięcia udarowe wytrzymywane urządzeń [PN-IEC 60364-4-443]

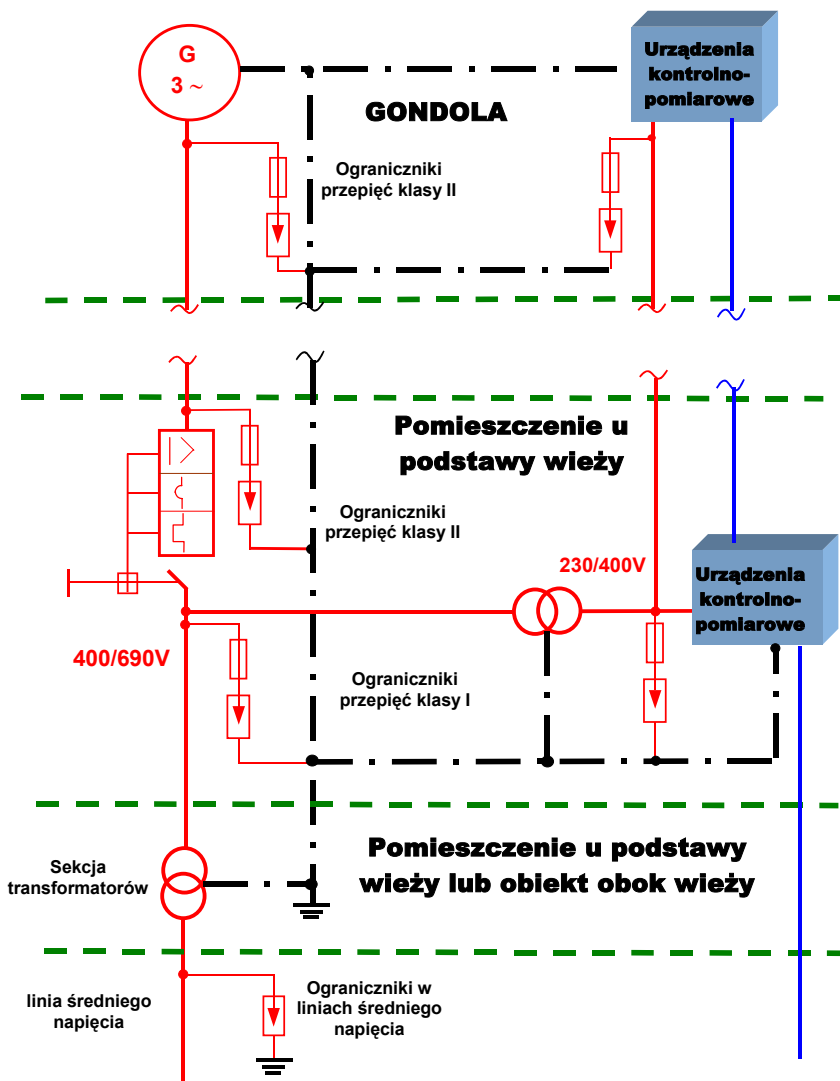
Znamionowe napięcie instalacji [V]		Wymagane napięcie udarowe wytrzymywane dla [kV]			
Sieć trójfazowa	Sieć jednofazowa z punktem środkowym	Urządzeń w/przy złączu instalacji (wytrzymałość udarowa kategorii IV)	Urządzeń rozdzielczych i obwodów odbiorczych (wytrzymałość udarowa kategorii III)	Odbiorników (wytrzymałość udarowa kategorii II)	Urządzeń specjalnie chronionych (wytrzymałość udarowa kategorii I)
-	120-240	4	2,5	1,5	0,8
230/400	-	6	4	2,5	1,5
400/690	-	8	6	4	2,5
1 000	-	Wartości uzależnione od konstrukcji sieci			

Kategoria I - adresowana do konstruktorów urządzeń.

Kategoria II - adresowana do komitetów opracowujących normy dla urządzeń dołączanych do sieci do sieci zasilającej.

Kategoria III - adresowana do komitetów opracowujących normy wyrobów w odniesieniu do materiałów instalacyjnych oraz dla wyrobów specjalnych.

Kategoria IV - adresowana do zakładów energetycznych i inżynierów nadzorujących sieci.



Rys.3. Rozmieszczenie ograniczników przepięć w systemie elektroenergetycznym w elektrowni wiatrowej

Ochrona przed przepięciami w systemach przesyłu sygnałów

Podobnie jak w przypadku instalacji elektrycznej należy wydzielić strefy LPZ 1 i LPZ 2, w których przepięcia są ograniczane poniżej:

- 4 kV w LPZ 1 (w realnych warunkach ten poziom wynosi najczęściej poniżej 1 kV),
- 500 V w LPZ 2 (najczęściej ograniczamy do poziomu wynoszącego 2 – 3 krotną wartość napięcia znamionowego).

W typowej elektrowni wiatrowej ochroną przepięciową należy objąć systemy elektroniczne spełniające następujące funkcje :

- nadzoru i sterowania urządzeń i czujników wirnika,
- nadzoru i sterowania urządzeń i czujników w gondoli,
- nadzoru i sterowania urządzeń i czujników w pomieszczeniu lub pomieszczeniach u podstawy wieży,
- monitorowania sieci energetycznej,
- łączności z sąsiednimi elektrowniami oraz centrum nadzorującym działaniem elektrowni.

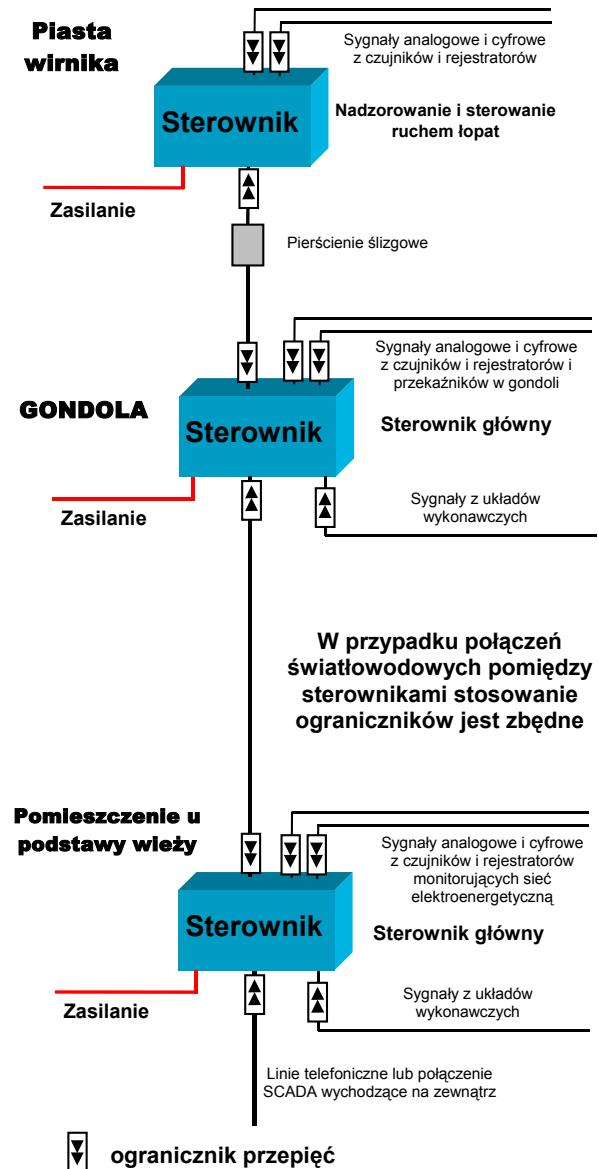
Najczęściej powyższe zadania wypełniają 2 – 3 sterowniki umieszczone w piasku wirnika, gondoli lub pomieszczeniu u podstawy wieży. W liniach sygnałowych dochodzących do sterowników powinny być zainstalowane ograniczniki przepięć.

Ogólną koncepcję kompleksowej ochrony systemów elektronicznych w elektrowni wiatrowej przedstawiono na rys. 5.

Obecnie coraz częściej sterowniki pracujące w gondoli i u podstawy wieży połączone są światłowodami, co eliminuje konieczność ograniczania przepięć w tych liniach.

Należy zaznaczyć, że na rysunku 5 przedstawiono tylko zasady ochrony sterowników. W rzeczywistych przypadkach należy również rozważyć potrzebę ochrony przepięciowej czujników i elementów wykonawczych.

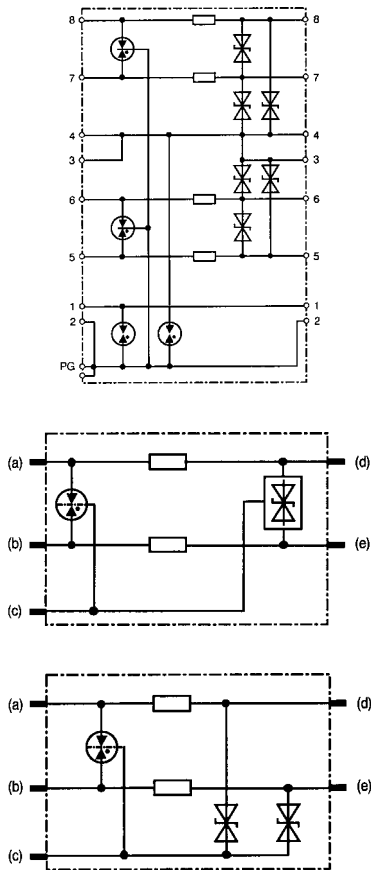
Dobierając ogranicznik przepięć do danego toru sygnałowego należy uwzględnić m.in.: występujące zagrożenie, podstawowe parametry sygnału i sposób przesyłu.



Rys. 5. Schemat systemu ograniczania przepięć w systemie elektronicznym w elektrowni wiatrowej

Przykłady najczęściej stosowanych ograniczników do ochrony portów do których dochodzą sygnały analogowe (Pętla prądowa 4...20mA) oraz linie transmisji danych (standardy transmisji RS 422 i 485) przedstawiono na rys.6.

Poprawny dobór i rozmieszczenie elementów i układów ochrony przepięciowej w instalacji elektrycznej i systemach przesyłu sygnałów powinien wyeliminować lub znacznie ograniczyć możliwości uszkodzenia urządzeń przez prąd piorunowy oraz napięcia atmosferyczne indukowane.



Rys.6. Schematy podstawowych typów ograniczników stosowanych do ochrony linii transmisji danych a) standard RS 485, b) standard RS 422, c) pętla prądowa 4...20 mA.

Literatura

1. Flisowski Zd. : Trendy rozwojowe ochrony odgromowej budowli. Część 1. Wyładowania piorunowe jako źródło zagrożenia.
2. Wiesinger J., Zischank W., Hopf C.: Konzept des Blitzschutzes von Windkraft-Anlagen. Vortrage der 3. VDE/ABB Blitzschutztagung am 28-29.10.1999, str. 295-302.
3. Scheibe K., Schimanski J., Wetter M.: Blitzschutzmassnahmen für eine Windkraftanlagen. Vortrage der 3. VDE/ABB Blitzschutztagung am 28-29.10.1999, str. 295-302.

4. Cotton I. i inni : Lightning protection for wind turbines. 25 International Conference on Lightning Protection 2000, Rhodos - Greece, 2000.
5. Agiris D. I inni : Analysis of lightning incidents on wind turbines in Greece. 26 International Conference on Lightning Protection 2002, Cracow – Poland, 2002,
6. Schimanski J., Schreibe K.: Lightning and Surge Protection of Wind Power Stations. 26 International Conference on Lightning Protection 2002, Cracow – Poland, 2002,
7. Hasse P.: EMV – orientiertes Blitz-Schutz-Konzept mit Beispielen aus der Praxis. VDE – Verlag GmbH, 1991.
8. **PN-86/E-05003/01:** Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Wymagania ogólne.
9. **PN-IEC 61024-1.** Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne. 2001.
10. **PN-IEC 61312-1.** Ochrona przed piorunowym impulsem elektro-magnetycznym. Zasady ogólne. Marzec 2001.
11. **PN-IEC 61024-1-1 :** Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne. Wybór poziomów ochrony dla urządzeń piorunochronnych.
12. **PN-IEC 61024-1-2 :** Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne. Przewodnik B – Projektowanie, montaż, konserwacja i sprawdzanie urządzeń piorunochronnych.
13. **IEC 88/117/CD:1999** Wind turbine generator systems- Part 24. Lightning protection for wind turbine. 2000.
14. **PN-IEC 60364-4-443:1999,** Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przez przepięciami. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi i łączeniowymi.