

## WPLYW WYBRANYCH ZDARZEŃ ATMOSFERYCZNYCH NA FUNKCJONOWANIE ZAINSTALOWANYCH SYSTEMÓW ELEKTRONICZNYCH

Robert PIOTROWSKI<sup>1</sup>, Emilian PIESIK<sup>2</sup>

1. Zespół Szkół Mechanicznych w Elblągu  
tel.: 604 90 27 90 e-mail: r.piotrowski@techserwis.net
2. Politechnika Gdańska  
tel.: 58 347 14 35 e-mail: emilian.piesik@pg.gda.pl

**Streszczenie:** Artykuł ma na celu przedstawienie zależności przyczynowo-skutkowych zachodzących pomiędzy awariami występującymi w sprzęcie elektronicznym (elektrycznym), a wywołującymi je zdarzeniami atmosferycznymi. Za podstawę analizy posłużyły badania przeprowadzane na zlecenie firmy ubezpieczeniowej, a poddawane były nim urządzenia, zainstalowane w różnych środowiskach, które uległy awarii w określonych warunkach pogodowych. Pierwotne zlecenia miały na celu wyłącznie typową diagnostykę określającą faktyczne przyczyny uszkodzeń, jednakże w trakcie ich wykonywania (dla potrzeb między innymi późniejszych badań) sprawdzano również związek pomiędzy zakresem i stopniem tych uszkodzeń, a wpływem różnorodnej konstrukcji oraz przeznaczenia poszczególnych urządzeń.

**Słowa kluczowe:** ocena usterek, ocena ryzyka, analiza strat materialnych, wyładowania atmosferyczne.

### 1. WPROWADZENIE

#### 1.1. Wstęp

W obecnych czasach, podczas likwidacji szkód dotyczących sprzętu elektronicznego, coraz częściej dochodzi do kontrowersji pomiędzy ubezpieczycielem a poszkodowanym w kwestii przyczyn powstania przedmiotowych usterek. Bardzo często jest to spowodowane brakiem specjalistycznej wiedzy u osób zajmujących się likwidacją tych szkód. W tej sytuacji, w celu ustalenia stanu faktycznego, firmy ubezpieczeniowe zmuszone są do korzystania z usług rzeczoznawców. To podnosi koszty likwidacji, a w efekcie (w wymiarze globalnym) przekłada się na stawki polis. Niniejszy artykuł ma być wstępem do szerszego opracowania badającego możliwość stworzenia narzędzi pozwalających osobie bez specjalnego przygotowania (na podstawie konkretnych szczegółów) określić genzę uszkodzenia oraz poziom odpowiedzialności firmy ubezpieczeniowej. Aktualność problemu oraz kwestia oszczędności płynących z zastosowania takiego narzędzia były motywacją do zajęcia się tym tematem.

#### 1.2. Sformułowanie problemu

Każde towarzystwo ubezpieczeniowe jest formą przedsiębiorstwa prowadzącego działalność gospodarczą, która z definicji powinna przynosić zyski. Rentowność firmy ubezpieczeniowej jest ściśle powiązana z liczbą i wysokością wypłacanych odszkodowań w związku z podejmowanym przez nie ryzykiem ubezpieczeniowym

[1]. Jednym z wielu elementów procesu zarządzania ryzykiem jest analiza prawdopodobieństwa jego wystąpienia. Składową takiej analizy będzie diagnostyka powstania usterek oraz kontrola przestrzegania zasad użytkowania i norm określających warunki brzegowe, jakie powinny spełniać dane urządzenia [2]. W modelowym przypadku ryzykiem tym będą różnego rodzaju uszkodzenia sprzętu elektronicznego w wyniku prawdopodobnych przykładowych czynników zewnętrznych, np. wyładowania atmosferyczne. Niebagatelny wpływ na rozmiar awarii ma również stopień skomplikowania budowy urządzenia.

#### 1.3. Środowisko pracy badanych urządzeń.

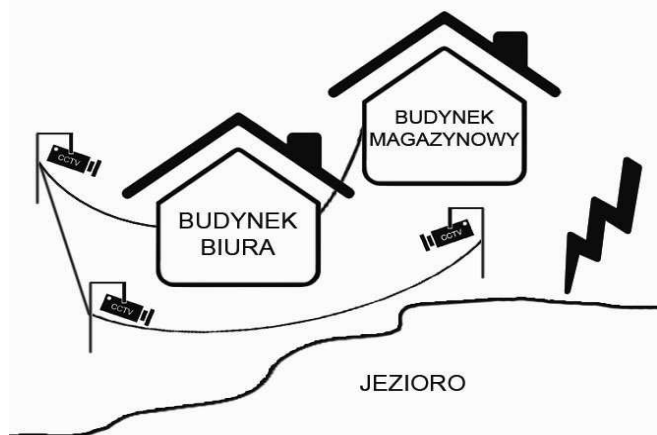
Czynnikiem mającym ogromny wpływ na skalę uszkodzeń badanych urządzeń było środowisko w jakim były one umieszczone. Dla potrzeb tego opracowania wybrano zdarzenia, które miały miejsce zarówno w terenie otwartym, w budynkach, jak również w strefie Ex. Wspólnym mianownikiem dla wszystkich zdarzeń były panujące w chwili awarii warunki atmosferyczne. W modelowych przykładach były to silne wyładowania piorunowe, bezpośrednio dotykające badanych obiektów lub występujące w ich pobliżu, połączone z obfitymi opadami deszczu [3].

### 2. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Dla uzyskania jak najdokładniejszego zobrazowania problemu liczba przeanalizowanych awarii oczywiście powinna być znacznie większa, jednakże z uwagi na sygnalizacyjny charakter artykułu, dla jego potrzeb wybrano tylko pojedyncze, przykładowe przypadki.

#### 2.1. Analizowane instalacje System dozoru z instalacją napowietrzną

System alarmowy wraz z systemem dozoru wizyjnego zbudowany w oparciu o wewnętrzne czujniki ppoż, zewnętrzne kamery CCTV umieszczone na metalowych słupach oraz rejestrator zainstalowany w pomieszczeniu jednego z dwóch budynków biurowych. Całość instalacji rozmieszczona była na powierzchni około 2 ha, częściowo w bliskiej odległości linii brzegowej zbiornika wodnego (duże jezioro). Większość instalacji zrealizowana była za pomocą przewodu miedzianego (częściowo ekranowanego) z elementami światłowodu łączonego za pomocą mediakonwerterów.



Rys. 1. Schemat instalacji systemu dozoru

Podczas oględzin stwierdzono błędnie dobrane mediakonwertery pod względem zabezpieczeń antyprzepięciowych. Wątpliwości budził również sposób wykonania instalacji uziemiającej oraz niedostateczne zabezpieczenia układów zasilających kilku kamer. Jednakże z uwagi na wystąpienie usterek we wszystkich tego typu urządzeniach przyjęto, iż stwierdzone zaniedbania nie miały w tym wypadku większego wpływu na awarię. W efekcie występujących w obrębie zbiornika wodnego znacznych wyładowań piorunowych wytworzyły się silne impulsy LEMP, które spowodowały wystąpienie udarów przewodzonych i zaindukowanych w instalacji napowietrznej, co z kolei wywołało uszkodzenia w sekcjach wejścia/wyjścia kamer i rejestratora oraz uszkodzenie czujników PIR. Z uwagi na brak jakichkolwiek zabezpieczeń antyprzepięciowych uszkodzeniu uległy również wszystkie mediakonwertery [4]. Poszkodowany zgłosił również nieprawidłowe działanie systemu podtrzymania zasilania, jednakże po zbadaniu jego elementów okazało się, że odpowiedzialne za to były zużyte (w sposób naturalny) akumulatory, co absolutnie nie było wynikiem działania czynników powodujących pozostałe awarie.

### Jednorodzinny budynek mieszkalny

Budynek mieszkalny wraz z niewielkim budynkiem gospodarczym, podłączone napowietrzną linią energetyczną, zlokalizowane na skraju miejscowości, w bliskiej odległości lasu i niewielkiego zbiornika wodnego.



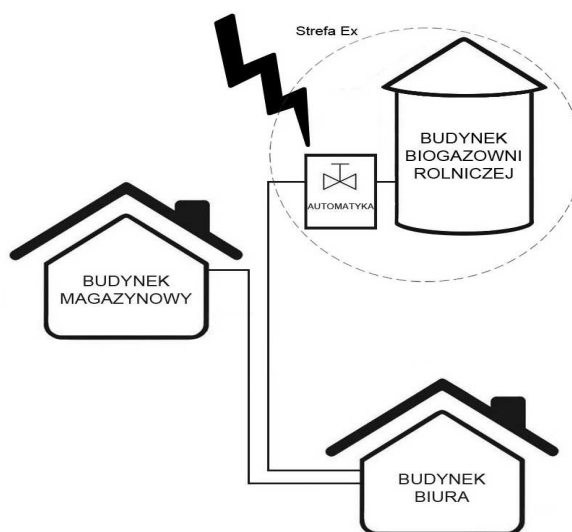
Rys. 2. Schemat zabudowań mieszkalno-użytkowych

W trakcie oględzin nie stwierdzono jakichkolwiek uchybień w montażu instalacji odgromowej i uziemiającej. Mimo wszystko na elewacji budynku znaleziono ślady uderzenia pioruna. W wyniku bezpośredniego wyładowania piorunowego stwierdzono uszkodzenia większości sprzętów elektrycznych i elektronicznych podłączonych do sieci energetycznej w postaci znacznych wypaleń laminatu w układach zasilania. Instalacja elektryczna budynku

mieszkalnego została w znacznym stopniu uszkodzona - prawdopodobnie przegrzana na co wskazywała nadtopiona izolacja. Również linia energetyczna łącząca budynek gospodarczy z budynkiem mieszkalnym została całkowicie zniszczona (spalona). Dodatkowo, prawdopodobnie towarzyszący, impuls elektromagnetyczny LEMP spowodował uszkodzenia w wejściowych modułach sygnałowych wszystkich odbiorników podłączonych do zbiorczej instalacji antenowej telewizji naziemnej oraz satelitarnej [4].

### Biogazownia rolnicza

System sterowania biogazownią wchodzący w skład strefy Ex zainstalowany w gospodarstwie rolniczym. Analizując powstałe uszkodzenia nie stwierdzono uchybień w instalacjach zabezpieczających. Wszystkie instalacje w strefie Ex były zgodne z dyrektywą ATEX 94/9/EC [5].



Rys. 3. Schemat instalacji biogazowni rolniczej

Stwierdzone wyładowanie piorunowe miało miejsce w pobliżu zbiornika gazu. W jego otoczeniu znajdowały się szafy rozdzielcze wyposażone w infrastrukturę automatyki, w tym automatyki zabezpieczeniowej. Wynikiem wyładowania było uszkodzenie kaset sterownika programowalnego, w szczególności zniszczenie jednostki sterującej, w postaci licznych wypaleń płyt głównych oraz zwęgleniu poszczególnych elementów elektronicznych. Konsekwencją tego był całkowity zanik sterowania w układach biogazowni.

### 2.2. Wyniki analizy

W wyniku przeprowadzonych badań zaobserwowano pewne zależności dotyczące uszkodzeń sprzętu elektronicznego a określonymi warunkami pogodowymi. Stwierdzono, iż zdecydowana większość usterek polegających na uszkodzeniu modułów zasilających w postaci spalonych elementów dyskretnych jak również nierzadko wypalenia całego laminatu a nawet przewodów zasilających powstała w wyniku bezpośrednich wyładowań piorunowych. Powodem tego może być niekontrolowany przepływ prądu piorunowego do ziemi, zwłaszcza w przypadku braku lub źle działającej instalacji odgromowej. Trzeba pamiętać, że przy takim wyładowaniu napięcie występujące pomiędzy elementem przewodzącym budynku a ziemią może sięgać milionów woltów, a prądy piorunowe wtedy płynące setki tysięcy amperów. W takich warunkach nie występują żadne skuteczne izolatory,

a wszelkie przewody elektryczne występujące w budynku będą działały na zasadzie kondensatora. Rozładowanie takiego kondensatora jest w stanie wywołać wyżej opisane skutki [6]. Niejednokrotnie przy bezpośrednich wyładowaniach piorunowych uszkodzeniu ulega cała instalacja elektryczna, a w szczególnych przypadkach może dojść do pożaru. Z uwagi na powyższe, przy tego typu usterkach, określenie powodu szkody i odpowiedzialności za ryzyko jest najłatwiejsze. Jediną kwestią pozostaje zakres danej odpowiedzialności ściśle określony w umowie.

O wiele trudniej określić powód wystąpienia awarii gdy nie widać żadnych fizycznych uszkodzeń. Aczkolwiek jednoczesne wystąpienie dużej ilości uszkodzeń różnych urządzeń elektronicznych może wskazywać na działanie sił zewnętrznych. Dodatkowym potwierdzeniem tego mogą być awarie układów mających fizyczne połączenie z naziemnymi liniami sygnałowymi, czyli tzw. układy wejścia/wyjścia. Opisana sytuacja może mieć związek z wystąpieniem piorunowego impulsu elektromagnetycznego (LEMP). Szkodliwe prądy zaindukowane bezpośrednio w urządzeniach lub w instalacjach kablowych do nich podłączonych mogą uszkodzić poszczególne elementy elektroniczne nie powodując ich fizycznego zniszczenia, jak to ma miejsce w przypadku bezpośredniego wyładowania piorunowego. Dodatkową trudność w określeniu tej przyczyny stanowi fakt, iż nawet zastosowanie specjalistycznych zabezpieczeń może jedynie ograniczyć prawdopodobieństwo awarii jednakże może nie być w stanie jej całkowicie zapobiec [7]. Dlatego w przypadku stwierdzenia tego typu uszkodzeń, oprócz standardowego przeglądu technicznego, może być konieczne przeprowadzenie wywiadu środowiskowego na okoliczność wystąpienia określonych warunków pogodowych.

Osobną kwestią występującą podczas określania związku przyczynowo-skutkowego związanego z konkretną awarią jest ustalenie czy powstałe w danym urządzeniu usterki nie są spowodowane jego naturalnym zużyciem, tudzież przekroczeniu warunków brzegowych związanych z jego nieprawidłowym, bądź niezgodnym z przeznaczeniem użytkowaniem [2].

### 3. PROPOZYCJA PODEJŚCIA

Zgodnie z pierwotnymi założeniami celem badań była próba przygotowania podwalin do stworzenia narzędzia umożliwiającego osobie bez specjalnego przygotowania technicznego dokonać oceny prawdopodobnych przyczyn powstania awarii. Z tego powodu sposób klasyfikacji uszkodzeń oparto o prostą analizę, polegającą na odpowiedzi na kilka pytań dotyczących stanu technicznego badanego urządzenia. Pierwszy krok analizy określa zgodność użytkownika urządzenia z jego DTR co jest bezpośrednio związane z odpowiedzialnością ubezpieczyciela, adekwatnie do zawartej umowy. W większości wypadków użytkowanie przez poszkodowanego urządzenia niezgodnie z DTR wyklucza odpowiedzialność ubezpieczyciela za dane ryzyko. W kolejnym kroku sprawdzamy warunki pogodowe panujące na danym terenie w trakcie wystąpienia awarii. Krok trzeci polega na określeniu środowiska pracy uszkodzonego urządzenia. Pośrednio ma ono wpływ na stopień zabezpieczeń, ponieważ skuteczne zabezpieczenie urządzeń znajdujących się w terenie otwartym (lub fizycznie z takimi połączonych) jest o wiele trudniejsze do wykonania, niż zabezpieczenia stosowane w budynkach. Z tego powodu prawdopodobieństwo wystąpienia awarii wywołanej

wyładowaniami atmosferycznymi w terenie otwartym jest większe od pozostałych. Dodatkowo normy określające stopień zabezpieczeń stosowanych w strefach Ex są znacznie bardziej rygorystyczne, co znacząco zmniejsza ryzyko powstania awarii [5]. Kontrola kolejnego, czwartego obszaru przewiduje kategoryzację sprzętu z uwagi na stopień skomplikowania jego budowy. Niewątpliwie, proste urządzenia elektryczne są znacznie bardziej odporne na wpływ np. dużego pola elektromagnetycznego od nowoczesnych produktów wykorzystujących zaawansowane technologie elektroniczne.

Ostatni, piąty badany obszar dotyczy rodzaju uszkodzenia. Jak przedstawiono w wynikach analizy awarie powstałe w wyniku bezpośredniego wyładowania piorunowego są teoretycznie stosunkowo łatwe do zdiagnozowania. Również prawdopodobieństwo ich powstania jest znaczne.

W celu usystematyzowania wiedzy dotyczącej konkretnej awarii stworzono tabelkę, w której zapisujemy wyniki kontroli kolejnych sprawdzanych obszarów. Dla zobrazowania metody w przedstawionych tabelach opisano przykładowe uszkodzenia zaprezentowane w niniejszym artykule.

Tablica pierwsza zawiera informacje dotyczące analizy uszkodzonych elementów systemu monitoringu opisanych w punkcie 2.1.

Tablica 1. Uszkodzenia w terenie otwartym

Obszar kontroli / Szkada	Uszkodzenia systemu monitoringu			
	Użytkowanie zgodne z DTR		Użytkowanie niezgodne z DTR	
Zgodność z DTR	20%	X	0%	
Warunki pogodowe	Występujące wyładowania atmosferyczne		Brak wyładowań atmosferycznych	
	20%	X	0%	
Środowisko pracy	Teren otwarty		Pomieszczenia	Strefa Ex
	15%	X	5%	X
Kategoria sprzętu	Skomplikowane urządzenia elektroniczne		Proste urządzenia elektryczne	
	15%	X	5%	
Rodzaj (objawy) uszkodzenia	Widoczne fizyczne szkody		Brak widocznych uszkodzeń	
	15%		5%	X

Sumując procentowe prawdopodobieństwa poszczególnych obszarów kontroli uzyskujemy wynik na poziomie 80%.

W tablicy drugiej przedstawiono uszkodzenia stwierdzone w gospodarstwie domowym z punktu 2.1.

Tablica 2. Uszkodzenia w budynkach

Obszar kontroli / Szkada	Uszkodzenia urządzeń elektrycznych i elektronicznych w budynku mieszkalnym oraz przyległych zabudowaniach gospodarczych i terenie wokół nich.			
	Użytkowanie zgodne z DTR		Użytkowanie niezgodne z DTR	
Zgodność z DTR	20%	X	0%	
Warunki pogodowe	Występujące wyładowania atmosferyczne		Brak wyładowań atmosferycznych	
	20%	X	0%	
Środowisko pracy	Teren otwarty		Pomieszczenia	Strefa Ex
	15%	X	5%	X
Kategoria sprzętu	Skomplikowane urządzenia elektroniczne		Proste urządzenia elektryczne	
	15%	X	5%	X
Rodzaj (objawy) uszkodzenia	Widoczne fizyczne szkody		Brak widocznych uszkodzeń	
	15%	X	5%	X

Wynik sumowania to 100%. W tym wypadku nie ma wątpliwości zarówno co do przyczyn uszkodzeń jak i odpowiedzialności ubezpieczyciela.

Tablica trzecia obrazuje analizę awarii biogazowni rolniczej opisaną w punkcie 2.1 artykułu.

Tablica 3. Uszkodzenia w strefie Ex

Obszar kontroli	Uszkodzenia systemu sterowania biogazowni rolniczej			
	Użytkowanie zgodne z DTR		Użytkowanie niezgodne z DTR	
Zgodność z DTR	20%	X	0%	
Warunki pogodowe	Występujące wyładowania atmosferyczne		Brak wyładowań atmosferycznych	
	20%	X	0%	
Środowisko pracy	Teren otwarty		Pomieszczenia	Strefa Ex
	15%		5%	0% X
Kategoria sprzętu	Skomplikowane urządzenia elektroniczne		Proste urządzenia elektryczne	
	15%	X	5%	X
Rodzaj (objawy) uszkodzenia	Widoczne fizyczne szkody		Brak widocznych uszkodzeń	
	15%	X	5%	

W tym wypadku podsumowanie kontrolowanych obszarów dało wynik 75%, co wskazuje na duże prawdopodobieństwo odpowiedzialności ubezpieczyciela ze to ryzyko.

Jako przeciwwagę do tych wyników przeanalizowano problem uszkodzonych akumulatorów systemu zasilania awaryjnego zgłaszanych przy szkodzie opisanej w punkcie 2.1. Elementy te były zamontowane w bezpiecznym pomieszczeniu. W trakcie przeprowadzonego wywiadu okazało się, że ich stan nie był kontrolowany od bardzo długiego czasu. Fakt ten uniemożliwiał jednoznaczne określenie czasu awarii, a oprócz tego było to niezgodne z zasadami ich użytkowania. Z tego powodu nie było podstaw do uznania ich awarii jako powstałej w trakcie wyładowań atmosferycznych. Dodatkowo data produkcji wskazywała wieloletnie użytkowanie, co znacząco uprawdopodobniło tezę o ich naturalnym zużyciu. Analizę przedstawiono w tablicy czwartej.

Tablica 4. Uszkodzenia w bezpiecznym pomieszczeniu

Obszar kontroli	Uszkodzone akumulatory systemu zasilania awaryjnego			
	Użytkowanie zgodne z DTR		Użytkowanie niezgodne z DTR	
Zgodność z DTR	20%		0%	X
Warunki pogodowe	Występujące wyładowania atmosferyczne		Brak wyładowań atmosferycznych	
	20%		0%	X
Środowisko pracy	Teren otwarty		Pomieszczenia	Strefa Ex
	15%		5% X	0%
Kategoria sprzętu	Skomplikowane urządzenia elektroniczne		Proste urządzenia elektryczne	
	15%		5%	X
Rodzaj (objawy) uszkodzenia	Widoczne fizyczne szkody		Brak widocznych uszkodzeń	
	15%		5%	X

## THE INFLUENCE OF SELECTED ATMOSPHERIC PHENOMENA ON FUNCTIONING OF THE INSTALLED ELECTRONIC SYSTEMS

The aim of the article is to present the cause-effect relationships between faults of electronic (electric) equipment and the atmospheric phenomena which cause them. The research is based on analyses commissioned by an insurance company, which concerned devices installed in various environments that malfunctioned in particular weather conditions. The original commissions concerned only typical diagnostics determining the actual causes of the malfunction. However, while conducting the diagnostics (also for the purpose of further research), the connection was also investigated between the range and degree of damage on the one hand and the various constructions and applications of particular devices on the other.

**Keywords:** fault evaluation, risk assessment, material loss analysis, lightning discharge.

Uzyskany wynik podsumowania to tylko 15%. W tym wypadku bardzo niskie prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka z przyczyn naturalnych jest zgodne ze stanem faktycznym i potwierdza pierwotną tezę.

## 4. PODSUMOWANIE

Propozycja podejścia przedstawiona w niniejszym artykule stanowi pierwszy z etapów prac nad metodą oceny zależności przyczynowo-skutkowych awarii sprzętu elektronicznego. Obecny stan badań wymaga pogłębionej weryfikacji. Proponowana metoda opiera się o subiektywne oceny ekspertów dokonujących analiz. Dalsze etapy badań będą się skupiać na ocenie niepewności otrzymywanych wyników oraz stworzeniu narzędzia wspomagającego wykonywanie ekspertyz. Prowadzone rozważania są miarodajne jedynie w przypadku, gdy nie występuje próba oszustwa. Istnieje odsetek prawdopodobieństwa, iż użytkownik dokona celowego uszkodzenia, co może znacząco wpłynąć na otrzymywane wyniki. W związku z tym metoda wymaga dalszych prac, a problem jest nadal aktualny.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Gołębiewski D.: "Audyt ubezpieczeniowy, Praktyczne metody analizy ryzyka", Poltext, Warszawa 2010.
- Gąsiorkiewicz L., Micyk R.: "Ubezpieczenia przemysłowe", w Podstawy ubezpieczeń, tom II – Produkty, J. Monkiwicz (red.), Poltext, Warszawa 2002.
- Sowa A.: Artykuł zamieszczony w Wiadomościach Elektrotechnicznych 10/2005.
- PN-EN 62305-4:2009 norma zawierająca informacje dotyczące projektowania, instalacji, sprawdzania, konserwacji i badania urządzeń ochronnych LEMP.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady ATEX 94/9/EC definiująca wymagania zasadnicze, jakie musi spełniać każdy produkt, przeznaczony do stosowania w strefach zagrożonych wybuchem. Obowiązywała do 19.04.2016 kiedy została zastąpiona dyrektywą ATEX 2014/34/UE.
- Sowa A.: Artykuł zamieszczony w elektro.info 10/2013.
- PN-IEC 61312-3:2003 Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym (LEMP). Wymagania dotyczące urządzeń do ograniczania przepięć (SPD).