



**PORADNIK
OCHRONY
ODGROMOWEJ**
wydanie pierwsze





**PORADNIK
OCHRONY
ODGROMOWEJ**
wydanie pierwsze



DEHN – Poradnik ochrony odgromowej

pierwsze wydanie polskie
tłumaczenie i adaptacja
niemieckiego wydania trzeciego poprawionego
„Poradnika ochrony odgromowej 2013” („BLITZPLANER“)

ISBN 978-3-9813770-5-7

Ochrona przed przepięciami
Ochrona odgromowa / uziwienie
Sprzęt bezpieczeństwa

DEHN chroni.

DEHN SE + Co KG
Hans-Dehn-Str. 1
Postfach 1640
92306 Neumarkt
Niemcy

tel.: +49 9181 906-0
fax: +49 9181 906-1100
info@dehn.de
www.dehn-international.com

Nazwy produktów wymienione w „Poradniku ochrony odgromowej”, które także są zarejestrowanymi znakami towarowymi, nie zostały osobno oznaczone w tekście. Nie można więc na podstawie braku oznaczenia TM lub [®] wnioskować, iż dana nazwa nie jest zarejestrowanym znakiem towarowym. Na podstawie tekstu nie można również stwierdzać, czy dany produkt posiada patenty, patenty użytkowe lub istnieją do niego inne prawa własności intelektualnej lub przemysłowej.

Zastrzegamy sobie prawo do zmian w projekcie, technice, wymiarach, wadze i materiałach ze względu na nieustanny postęp techniczny. Ilustracje nie są wiążące. Nie ponosimy odpowiedzialności za błędy drukarskie, modyfikacje i błędy. Powielanie, nawet we fragmentach, dozwolone jest wyłącznie po uzyskaniu uprzedniej zgody.

Druk nr DS702/PL/2019
© Copyright 2019 DEHN



Spis treści

Przedmowa	6	3.3.2.2 Informacje na temat modułu DEHN Distance Tool	55
1 Stan techniki w dziedzinie urządzeń piorunochronnych.	8	3.3.3 DEHN Earthing Tool: obliczanie długości uziomów zgodnie z normą to IEC 62305-3 (EN 62305-3).	55
1.1 Normy wykonawcze	9	3.3.4 DEHN Air-Termination Tool: obliczanie wysokości zwodów pionowych (iglic) zgodnie z normą IEC 62305-3 (EN 62305-3)	56
1.2 Umowy wykonawcze	11	3.4 Przeglądy i konserwacja	56
1.3 Normy produktowe	11	3.4.1 Rodzaje przeglądów i kwalifikacja urządzeń testowych.	56
2 Charakterystyka prądu piorunowego.	14	3.4.2 Procedura przeglądu	57
2.1 Wyładowanie atmosferyczne i przepływ prądu piorunowego	15	3.4.3 Dokumentacja	58
2.2 Wartość maksymalna prądu piorunowego	17	3.4.4 Konserwacja	59
2.3 Stromość narastania prądu piorunowego	19	4 Urządzenie piorunochronne	60
2.4 Ładunek prądu piorunowego	20	5 Zewnętrzne urządzenie piorunochronne	62
2.5 Energia właściwa	21	5.1 Układ zwodów	63
2.6 Składowe prądu piorunowego	23	5.1.1 Rodzaje zwodów i metody ich rozmieszczania	63
2.7 Przyporządkowanie parametrów prądu piorunowego do poziomów zagrożenia	23	5.1.2 Układ zwodów dachach dwuspadowych	72
2.8 Pomiar prądu piorunowego wyładowań oddolnych i odgórnych.	24	5.1.3 Układ zwodów na dachach płaskich	73
3 Projektowanie urządzenia piorunochronnego	26	5.1.4 Układ zwodów na dachach metalowych	76
3.1 Konieczność stosowania urządzenia piorunochronnego – stan prawny	27	5.1.5 Układ zwodów na dachach krytych strzechą	78
3.2 Objaśnienia do normy IEC 62305-2 (EN 62305-2): Zarządzanie ryzykiem.	31	5.1.6 Dachy użytkowe	81
3.2.1 Źródła uszkodzenia, typy uszkodzenia i typy strat	31	5.1.7 Układ zwodów na dachach zielonych i dachach płaskich	82
3.2.2 Podstawy szacowania ryzyka	32	5.1.8 Układ zwodów odseparowanych	82
3.2.3 Liczba groźnych zdarzeń w roku	34	5.1.9 Układ zwodów na wieżach kościelnych i kościołach	86
3.2.4 Prawdopodobieństwo uszkodzenia obiektu	36	5.1.10 Układ zwodów na turbinach wiatrowych	87
3.2.5 Straty	41	5.1.11 Zwody pionowe narażone na obciążenie wiatrem	88
3.2.6 Istotne komponenty ryzyka w zależności od miejsca uderzenia pioruna	46	5.1.12 Systemy bezpieczeństwa i ochrona odgromowa	92
3.2.7 Akceptowalne ryzyko szkody wskutek wyładowania	46	5.2 Przewody odprowadzające	94
3.2.8 Dobór środków ochrony odgromowej	46	5.2.1 Określenie liczby przewodów odprowadzających.	94
3.2.9 Utrata wartości ekonomicznej / opłacalność środków ochrony	47	5.2.2 Przewody odprowadzające w nieodseparowanym urządzeniu piorunochronnym.	95
3.2.10 Pomoce obliczeniowe.	49	5.2.2.1 Montaż przewodów odprowadzających	95
3.3 Pomoc obliczeniowa – DEHNSupport Toolbox	50	5.2.2.2 Naturalne elementy przewodów odprowadzających	96
3.3.1 DEHN Risk Tool: analiza ryzyka zgodnie z normą IEC 62305-2 (EN 62305-2)	50	5.2.2.3 Zaciski probiercze.	98
3.3.2 DEHN Distance Tool: obliczanie odstępów separującego zgodnie z normą IEC 62305-3 (EN 62305-3)	54	5.2.2.4 Wewnętrzne przewody odprowadzające	99
3.3.2.1 Metoda potencjałów węzłowych	54	5.2.2.5 Dziedzińce wewnętrzne.	99
		5.2.3 Przewody odprowadzające w odseparowanym zewnętrznym urządzeniu piorunochronnym	99
		5.2.4 Przewód odprowadzający o izolacji wysokonapięciowej HVI	99

5.3	Materiały i wymiary minimalne zwodów i przewodów odprowadzających.	109	6.3	Połączenia wyrównawcze systemów informatycznych	181
5.4	Wymiary montażowe zwodów i przewodów odprowadzających	109	7	Ochrona systemów elektrycznych i elektronicznych przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym (LEMP)	186
5.4.1	Rozszerzalność drutów metalowych	110	7.1	Strefowa koncepcja ochrony	187
5.4.2	Zewnętrzne urządzenie piorunochronne dla budynków przemysłowych i mieszkalnych	111	7.2	Zarządzanie środkami ochrony przed LEMP	190
5.4.3	Wskazówki do montażu wsporników dachowych	112	7.3	Obliczanie tłumienia magnetycznego przy pomocy ekranów w budynkach i pomieszczeniach	191
5.5	Instalacje uziemiające	116	7.3.1	Ekranowanie kabli	197
5.5.1	Instalacje uziemiające zgodnie z normą IEC 62305-3 (EN 62305-3).	127	7.4	Sieć połączeń wyrównawczych	200
5.5.2	Instalacje uziemiające, uziomy fundamentowe i uziomy fundamentowe dla budynków o szczególnych uwarunkowaniach.	129	7.5	Połączenia wyrównawcze na granicy stref LPZ 0 _A i LPZ 1	202
5.5.3	Uziomy otokowe – uziomy typu B	139	7.5.1	Połączenia wyrównawcze w instalacji metalowej	202
5.5.4	Uziomy głębokie – uziomy typu A	140	7.5.2	Połączenia wyrównawcze w instalacji zasilającej budynek	204
5.5.5	Uziomy dla gruntów skalistych	141	7.5.3	Połączenia wyrównawcze w systemie informatycznym	207
5.5.6	Instalacje uziemiające w formie sieci	141	7.6	Połączenia wyrównawcze na granicy stref LPZ 0 _A i LPZ 2	207
5.5.7	Korozja uziomów	142	7.6.1	Połączenia wyrównawcze w instalacji metalowej	207
5.5.7.1	Instalacje uziemiające ze szczególnym uwzględnieniem problemu korozji.	142	7.6.2	Połączenia wyrównawcze w instalacji zasilającej budynek	207
5.5.7.2	Tworzenie ogniw galwanicznych, korozja	143	7.6.3	Połączenia wyrównawcze w systemie informatycznym	207
5.5.7.3	Uziomy – dobór materiałów	147	7.7	Połączenia wyrównawcze na granicy stref LPZ 1 i LPZ 2 oraz wyższych	209
5.5.7.4	Łączenie uziomów zbudowanych z różnych materiałów	147	7.7.1	Połączenia wyrównawcze w instalacji metalowej	209
5.5.7.5	Inne środki ochrony przed korozją	148	7.7.2	Połączenia wyrównawcze w instalacji zasilającej budynek	210
5.5.8	Materiały i wymiary minimalne uziomów	149	7.7.3	Połączenia wyrównawcze w systemie informatycznym	211
5.6	Separacja elektryczna zewnętrznego urządzenia piorunochronnego – odstęp separujący	149	7.8	Koordinacja środków ochrony na różnych granicach stref LPZ	211
5.7	Napięcie krokowe i dotykowe	155	7.8.1	Instalacje zasilające	211
5.7.1	Redukcja napięcia dotykowego w przewodach odprowadzających urządzenia piorunochronnego	158	7.8.2	Systemy informatyczne	215
5.7.2	Optymalizacja uziemienia instalacji ochrony odgromowej w aspekcie napięcia krokowego	160	7.9	Badania okresowe i konserwacja urządzeń ochrony przed LEMP.	215
5.8	Badania fabryczne elementów urządzenia piorunochronnego	164	8	Dobór, instalacja i montaż ograniczników przepięć (SPD)	216
5.9	Wymiarowanie instalacji uziemiających dla stacji transformatorowych	169	8.1	Instalacje zasilające (jako część strefowej koncepcji ochrony odgromowej zgodnie z normą IEC 62305-4 (EN 62305-4))	217
6	Wewnętrzne urządzenie piorunochronne.	176	8.1.1	Charakterystyka ograniczników przepięć	218
6.1	Połączenia wyrównawcze instalacji metalowych	177			
6.1.1	Minimalne przekroje przewodów wyrównawczych zgodnie z normą IEC 62305-3 (EN 62305-3).	180			
6.2	Połączenia wyrównawcze instalacji zasilających.	180			

8.1.2	Zastosowanie ograniczników prądów w różnych układach sieciowych	219	9.15	Ochrona przepięciowa masztów oświetleniowych LED	338
8.1.3	Stosowanie SPD w układzie TN	221	9.16	Ochrona odgromowa i przepięciowa turbin wiatrowych	342
8.1.4	Stosowanie SPD w układzie TT	227	9.17	Ochrona instalacji telefonii komórkowej (4G/LTE)	354
8.1.5	Stosowanie SPD w układzie IT	232	9.18	Ochrona odgromowa i przepięciowa instalacji fotowoltaicznych na dachach budynków	362
8.1.6	Określanie długości przewodów połączeniowych dla SPD	234	9.19	Ochrona odgromowa i przepięciowa farm fotowoltaicznych	374
8.1.7	Określanie przekrojów połączeń i zabezpieczenia nadprądowego urządzeń do ograniczania prądów	239	9.20	Ochrona przepięciowa sieci LON.	386
8.1.8	Ograniczniki prądów typu 2 z wbudowanym zabezpieczeniem nadprądowym	243	9.21	Ochrona przepięciowa stacji paliw.	390
8.2	Systemy informatyczne	244	9.22	Ochrona przed napięciem dotykowym i krokowym w obiektach sportowych.	394
8.2.1	Systemy pomiarowo-kontrolne	253	9.23	Ochrona odgromowa i przepięciowa pól golfowych	398
8.2.2	Systemy zarządzania budynkiem	254	9.24	Ochrona przepięciowa kościołów	404
8.2.3	Systemy okablowania strukturalnego (sieci komputerowe, systemy telekomunikacyjne)	254	9.25	Ochrona przepięciowa oświetlenia liniowego	406
8.2.4	Iskrobezpieczne obwody pomiarowe	256	9.26	Ochrona przepięciowa wind	410
8.2.5	Specyfika montażu ograniczników prądów	261	9.27	Ochrona przepięciowa instalacji oddymiania i wentylacji	412
8.2.6	Ochrona i utrzymanie stanu instalacji dzięki strategiom utrzymania instalacji	264	9.28	Ogólne wskazówki nt. ochrony odgromowej wiat i zadaszeń	418
9	Białe księgi	266	9.29	Ochrona przepięciowa systemów podgrzewania rynien	424
9.1	Ochrona przepięciowa przemienników częstotliwości	266	9.30	Zastosowanie zoptymalizowanych ograniczników kombinowanych typu 1 w instalacjach nn	428
9.2	Ochrona odgromowa i przepięciowa oświetlenia zewnętrznego	270	9.31	Ochrona przepięciowa instalacji oświetlenia awaryjnego	434
9.3	Ochrona odgromowa i przepięciowa biogazowni.	274	9.32	Ochrona odgromowa i przepięciowa stref zagrożonych wybuchem	438
9.4	Doposażenie oczyszczalni ścieków w środki ochrony odgromowej i przepięciowej	284	9.33	Ochrona odgromowa instalacji redukcji ciśnienia i pomiaru gazu	446
9.5	Wymogi bezpieczeństwa dla kablowych sieci przesyłu sygnału, dźwięku i usług interaktywnych	290	9.34	Ochrona odgromowa i przepięciowa jachtów	452
9.6	Ochrona przepięciowa budynków rolniczych	296	Suplement	458	
9.7	Ochrona przepięciowa instalacji telewizji przemysłowej (CCTV).	300	A.	Materiały pomocnicze	459
9.8	Ochrona przepięciowa instalacji elektroakustycznych	304	B.	Wykaz rysunków i tabel	466
9.9	Ochrona przepięciowa systemów alarmowych	308	C.	Terminy i definicje	477
9.10	Ochrona przepięciowa systemów KNX.	312	D.	Skróty	481
9.11	Ochrona przepięciowa sieci ETHERNET i Fast Ethernet	318	E.	Symbole techniczne	483
9.12	Ochrona przepięciowa magistrali M-Bus	324	F.	Skorowidz	485
9.13	Ochrona przepięciowa sieci PROFIBUS FMS, DP i PA	330			
9.14	Ochrona przepięciowa linii telekomunikacyjnych	334			



Przedmowa

Komitet Techniczny ds. Ochrony Odgromowej (IEC TC 81) działający w ramach Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej (IEC, International Electrotechnical Commission) od momentu powstania w 1980 r. opublikował wiele norm dotyczących ochrony odgromowej budynków, ochrony systemów elektronicznych, analizy ryzyka i symulacji skutków wyładowań atmosferycznych. Międzynarodowa norma IEC 62305 (arkusze od 1 do 4) opublikowana w 2006 r. położyła podwaliny pod normy dotyczące ochrony odgromowej i ich zastosowania. Została ona opublikowana prawie w tym samym czasie, co europejska norma EN 62305 (arkusze 1 do 4) dotycząca ochrony odgromowej. Cała seria norm IEC była przedmiotem dalszych prac w latach 2006-2010 i została ostatecznie opublikowana w grudniu 2010 r. jako IEC 62305, arkusze od 1 do 4:2010-12 (wydanie 2). Choć dostosowania zostały zaakceptowane na szczeblu międzynarodowym, tylko części 1, 3 i 4 zostały przyjęte na poziomie europejskim i zostały opublikowane jako dokumenty EN w październiku 2011 r. Część 2 została dostosowana do wymogów europejskich, poprawiona i ostatecznie opublikowana jako norma europejska w marcu 2012 r.

Projektując i instalując urządzenia piorunochronne, wykonawcy muszą przestrzegać normy IEC 62305 (EN 62305), aby zachować zgodność ze aktualnym stanem wiedzy technicznej. W tym celu muszą zapoznać się z treścią nowych norm ochrony odgromowej. Traktaty europejskie wymagają, aby państwa członkowskie w całości przyjęły normy europejskie (nie tylko w dziedzinie ochrony odgromowej) na poziomie krajowym. W związku z tym dodatkowe informacje dostarczane są w postaci krajowych załączników. Załączniki nie są sprzeczne z treścią normy i z prawnego

punktu widzenia mają jedynie charakter informacyjny. Ponieważ załączniki zostały przygotowane przez różnych ekspertów, wzięto pod uwagę wiele aspektów nauki, jak również projektowanie, montaż i przeglądy urządzeń piorunochronnych. Załączniki prezentują aktualny stan wiedzy technicznej i należy ich przestrzegać.

Niniejsza edycja „Poradnika ochrony odgromowej” – poprawiona i znacznie rozszerzona – ma na celu zapoznanie ekspertów z tej dziedziny (projektantów lub instalatorów) z nową serią norm IEC 62305 (EN 62305). W tym celu nasz „Poradnik...” zawiera kompleksowe rozwiązania praktyczne dla różnych zastosowań. Dostarcza on również ogólnych informacji na temat szeroko pojętej dziedziny ochrony odgromowej i przepięciowej, która stanowi główny obszar biznesowy firmy DEHN zarządzanej obecnie przez czwarte pokolenie rodziny założyciela.

W tym miejscu chcielibyśmy podziękować panu Thomasowi Dehnowi, byłemu partnerowi zarządzającemu DEHN z trzeciego pokolenia, za jego wieloletnie zaangażowanie w naukę, badania i edukację. Ta książka nie powstałaby bez niego.

Trzecie wydanie naszego „Poradnika ochrony odgromowej” jest już dostępne i mamy nadzieję, że będzie on dla Ciebie pomocny. Uprzejmie prosimy o pomoc w ulepszaniu tej publikacji. Możesz przesłać swoje poprawki i sugestie na adres e-mail poradnik@dehn.pl. Czekamy na Twoje uwagi i dołożymy wszelkich starań, aby uwzględnić je w następnym wydaniu.



DEHN SE + Co KG, Neumarkt



Stan techniki w dziedzinie urządzeń piorunochronnych

1.1 Normy wykonawcze*

Nowe normy z serii IEC 62305 (EN 62305) oddają stan techniki w zakresie ochrony odgromowej na podstawie jednolitej i aktualnej bazy ogólnoeuropejskiej. Dwie ogólnie obowiązujące części normy (IEC 62305-1 (EN 62305-1) i -2 (EN 62305-2), **tab. 1.1.1**) uzyskały pierwszeństwo przed właściwymi normami z zakresu ochrony (IEC 62305-3 (EN 62305-3) i -4 (EN 62305-4)). Ważne informacje krajowe nie zostały skreślone, lecz są podane w treści normy w załączonych dodatkach (**tab. 1.1.2**).

IEC 62305-1 (EN 62305-1): Zasady ogólne

Część ta zawiera informacje na temat zagrożenia piorunami, parametrów pioruna i wynikających z tego parametrów symulacji oddziaływania pioruna. Następnie zamieszczony jest przegląd serii norm PN-EN 62305. Wyjaśnione są sposób postępowania i zasady ochrony leżące u podstaw kolejnych części normy.

IEC 62305-2 (EN 62305-2): Zarządzanie ryzykiem

Zarządzanie ryzykiem zgodnie z normą IEC 62305-2 (EN 62305-2) w pierwszej kolejności ocenia konieczność stosowania ochrony odgromowej na podstawie analizy ryzyka. Potem ustala się optymalne środki ochrony pod względem technicznym i ekonomicznym. Na koniec określa się pozostałe ryzyko, którego nie można wykluczyć. Wychodząc od stanu obiektu niechronionego

zmniejsza się niedające się wykluczyć ryzyko tak długo, aż przekroczy ono poziom ryzyka akceptowalnego. Procedura ta może być stosowana zarówno do łatwego wyznaczenia klasy LPS (*lightning protection system*, urządzenie piorunochronne) zgodnie z normą IEC 62305-3 (EN 62305-3), jak również w celu ustalenia kompleksowego systemu ochrony przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym (LEMP, *Lightning ElectroMagnetic Pulse*) zgodnie z normą IEC 62305-4 (EN 62305-4).

Dodatek 1 do niemieckiej normy DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2 dodatek 1): Zagrożenie wyładowaniami atmosferycznymi w Niemczech

W Dodatku 1 przedstawiona została gęstość wyładowań doziemnych N_g dla Niemiec na podstawie mapy. Wartość N_g jest potrzebna do analizy ryzyka zgodnie z normą IEC 62305-2 (EN 62305-2).

Dodatek 2 do niemieckiej normy DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2 dodatek 2): Pomoc obliczeniowa w szacowaniu ryzyka wystąpienia szkód w budynkach

Dodatek ten zawiera pomoc obliczeniową przy szacowaniu ryzyka wystąpienia szkód zgodnie z normą IEC 62305-2 (EN 62305-2) zarówno w ochronie budynków i osób – jak to ujmuje część 3 tej normy – jak i systemów elektrycznych i elektronicznych w budynkach, zgodnie z normą IEC 62305-4 (EN 62305-4).

Klasyfikacja	Tytuł
IEC 62305-1 (EN 62305-1): 2010-12	Ochrona odgromowa Część 1: Zasady ogólne
IEC 62305-2 (EN 62305-2): 2010-12	Ochrona odgromowa Część 2: Zarządzanie ryzykiem
IEC 62305-3 (EN 62305-3): 2010-12	Ochrona odgromowa Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia
IEC 62305-4 (EN 62305-4): 2010-12	Ochrona odgromowa Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach

Tab. 1.1.1 Normy dotyczące ochrony odgromowej obowiązujące od grudnia 2010 r.

Norma	Dodatek	Tytuł
DIN EN 62305-2	1	Zagrożenie wyładowaniami atmosferycznymi w Niemczech
	2	Pomoc obliczeniowa w szacowaniu ryzyka wystąpienia szkód w budynkach
	3	Dodatkowe informacje dotyczące stosowania normy DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2)
DIN EN 62305-3	1	Dodatkowe informacje dotyczące stosowania normy DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)
	2	Dodatkowe informacje dotyczące obiektów specjalnych
	3	Dodatkowe informacje dotyczące konserwacji i kontroli urządzeń piorunochronnych
	4	Zastosowanie dachów metalowych jako elementów urządzeń piorunochronnych
	5	Ochrona odgromowa i przepięciowa fotowoltaicznych systemów zasilania
DIN EN 62305-4	1	Rozpływ prądu piorunowego

Tab. 1.1.2 Dodatki krajowe do niemieckiej normy DIN EN 62305

* Stan aktualny w chwili opracowywania niniejszego wydania „Poradnika”. Najnowszy wykaz polskich norm z zakresu ochrony odgromowej i przepięciowej został przedstawiony w Suplemencie A na stronie 462.

Dodatek 3 do niemieckiej normy DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2 dodatek 3): Dodatkowe informacje dotyczące stosowania normy DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2)

Dodatek zawiera objaśnienia, tabele i rysunki, które mają ułatwić zrozumienie i stosowanie normy, jak również przedstawić nowe ustalenia.

IEC 62305-3 (EN 62305-2): Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia

Ta część zajmuje się ochroną budynków i osób przed uszkodzeniami materialnymi i zagrożeniem życia oraz przed uszkodzeniami materialnymi powstającymi wskutek wpływu prądu piorunowego i niebezpiecznego powstawania iskry, szczególnie przy bezpośrednim uderzeniu pioruna. Jako środek ochrony służy urządzenie piorunochronne składające się z zewnętrznego urządzenia piorunochronnego (układ zwodów, przewody odprowadzające i instalacja uziemiająca) i wewnętrznego urządzenia piorunochronnego (sieć połączeń wyrównawczych oraz odstęp separujący). Urządzenie piorunochronne jest definiowane przez swoją klasę ochrony, przy czym skuteczność maleje od klasy I do klasy IV. Żądaną klasę ochrony ustala się za pomocą analizy ryzyka opisanej w normie IEC 62305-2 (EN 62305-2), o ile nie jest ona określona przepisami (np. budowlanymi).

Dodatek 1 do niemieckiej normy DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3 dodatek 1): Dodatkowe informacje dotyczące stosowania normy DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

Duża część Dodatku 1 zawiera objaśnienia do załącznika E normy „Wytyczne projektowania, wykonania, konserwacji i sprawdzania urządzeń piorunochronnych”. W dodatku kładzie się większy nacisk na wymiarowanie układu zwodów, wykorzystanie metalowych elementów, stosowanie obszarów ochrony, itd. Ponadto podane są informacje o charakterystyce palności materiałów i elementów budowlanych. W celu rozgraniczenia zakresu kompetencji normy wylicza się obszary, dla których obowiązują specjalne przepisy (np. instalacje kolejowe, systemy produkcji, przesyłu i rozdziału energii elektrycznej znajdujące się poza budynkami, rurociągi, pojazdy mechaniczne, statki, samoloty i instalacje pełnomorskie (offshore)).

Poza tym w Dodatku 1 doprecyzowano różne pojęcia i definicje (np. przewód odprowadzający, uziom, piorunochronne połączenie wyrównawcze). Podane są także informacje na temat prawidłowego zastosowania przewodów aluminiowych pod, w i na tynku, zaprawie i betonie. Wskazano, że **w zasadzie** zabrania się stosowania aluminium w gruncie (ziemi).

Na przykładach wyjaśniono użycie przewodów łączących pojedyncze uziomy.

Dodatek uzupełnia także informacje (lub objaśnia je za pomocą ilustracji) na temat stosowania środków ochrony przed napięciem dotykowym i krokowym oraz zastosowania rynien da-

chowych, rur spustowych, wsporników stalowych, naturalnych uziomów, elementów budowlanych produkcji rzemieślniczej lub przemysłowej i środków ochrony przed korozją.

Dodatek 2 do niemieckiej normy DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3 dodatek 2): Dodatkowe informacje dotyczące obiektów specjalnych

Dodatek zawiera informacje dotyczące obiektów specjalnych (np. szpitali, obiektów sportowych, basenów, obiektów magazynowych z obszarami zagrożonymi wybuchem, magazynów wysokiego składowania, oczyszczalni ścieków i instalacji biogazowych), uwzględniając przy tym rozwój technologiczny ostatnich lat.

Dodatek 3 do niemieckiej normy DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3 dodatek 3): Dodatkowe informacje dotyczące konserwacji i kontroli urządzeń piorunochronnych

W niniejszym dodatku użytkownik otrzymuje kompletny dokument dotyczący kontroli urządzeń piorunochronnych, łącznie z planem przebiegu badań. Dodatek ustala pojęcia i ich znaczenie (np. specjalista z zakresu ochrony odgromowej) oraz zawiera grafikę objaśniającą procedurę pomiarową w testach kontrolnych urządzeń piorunochronnych (rezystancja przejścia, wypadkowa rezystancja rozplywu uziomu) i zasady tworzenia dokumentacji.

Dodatek 4 do niemieckiej normy DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3 dodatek 4): Zastosowanie dachów metalowych jako elementów urządzeń piorunochronnych

Dachy metalowe mogą służyć jako naturalna część urządzenia piorunochronnego. Celem dodatku jest udostępnienie dodatkowych informacji na temat ich wykorzystania zgodnie z normą IEC 62305 (EN 62305).

Dodatek 5 do niemieckiej normy DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3 dodatek 5): Ochrona odgromowa i przepięciowa fotowoltaicznych systemów zasilania

Dodatek ten opisuje ochronę fotowoltaicznych systemów zasilania przed wpływem wyładowań i przepięciami pochodzenia atmosferycznego. Przybliży wymogi i środki niezbędne do zachowania bezpieczeństwa, funkcjonowania i sprawności fotowoltaicznych systemów zasilających.

EN 62305-4 (VDE 0185-305-4): Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach

Ta część normy traktuje o ochronie budynków z elektrycznymi i elektronicznymi systemami przed oddziaływaniem piorunowego impulsu elektromagnetycznego. W oparciu o środki ochrony odpowiadające normie IEC 62305-3 (EN 62305-3) uwzględnia się w niej także oddziaływanie pola elektrycznego i magnetycz-

nego, jak również napięć i prądów indukowanych, wywołanych przez bezpośrednie i pośrednie uderzenia pioruna.

Znaczenie i konieczność tej normy wynikają z coraz częstszego zastosowania różnorodnych systemów elektrycznych i elektronicznych, określanych wspólnie pod pojęciem „systemy informatyczne”. W celu ochrony systemów informatycznych dzieło się budynek na strefy ochrony (LPZ). Tak więc przy doborze środków ochrony uwzględnia się lokalne różnice w zakresie ilości, rodzaju i wrażliwości urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Dla każdej strefy ochrony wybiera się w oparciu o analizę ryzyka zgodnie z normą IEC 62305-2 (EN 62305-2) takie środki ochrony, które zapewniają optymalną ochronę przy minimalnych kosztach.

Normy z serii IEC 62305 (EN 62305) części 1 do 4 mają zastosowanie w procesach projektowania, wykonania, kontroli i konserwacji urządzeń piorunochronnych w budynkach, ochronie instalacji wewnątrz budynków i osób znajdujących się w budynkach.

1.2 Umowy wykonawcze

Z zasady przedsiębiorca wykonujący zlecenie gwarantuje bezbłędne wykonanie pracy. Podstawą decydującą o bezbłędności wykonania robót jest przestrzeganie uznanych zasad techniki. Powołujemy się tu na odpowiednie normy krajowe, aby ożywić stan rzeczy określony jako „uznane zasady techniki”. Jeżeli odpowiednie normy są zachowane, można założyć, że zlecenie jest pozbawione wad. W praktyce klient, który będzie chciał reklamować wykonanie usługi jako niezgodnej z umową (np. wykonanie urządzenia piorunochronnego), ma niewielkie szanse na pozytywne jej rozpatrzenie, jeśli wykonawca udowodni, że wykonał zlecenie zgodnie z właściwymi normami technicznymi. W takim kontekście normy i prenormy mają taką samą wagę. Domniemanie zgodności norm technicznych nie ma jednak zastosowania w momencie wycofania danej normy lub udowodnienia, że konkretna norma nie odpowiada już technicznemu stanowi rzeczy. Normy nie mogą opisywać statystycznie uznanych zasad techniki, ponieważ możliwości i wymagania techniczne ciągle się zmieniają. Jeżeli więc jakieś normy zostają wycofywane i zastąpione przez nowe normy lub prenormy, to właśnie one w pierwszym rzędzie odpowiadają stanowi techniki. Krajowe dodatki do norm przedstawiają uznany stan techniki.

Wykonawca i zamawiający usługę ustalają zawsze – bez konieczności specjalnej wzmianki na ten temat – że wynik prac musi odpowiadać ogólnemu stanowi techniki. Jeżeli wykonanie odbiega od tego stanu należy uznać je za wadliwe. Wskutek tego może powstać roszczenie wobec wykonawcy oparte na zasadach rękojmi. Rękojmia ma jednakże zastosowanie tylko wtedy, jeżeli wykonanie posiadało wady już w momencie odbioru prac! Okoliczności powstałe po tym czasie – jak np. bieżąca

zmiana stanu techniki – nie skutkują powstaniem wady w odebranym już jako prawidłowo wykonane zleceniu!

W kwestii braku błędów danego wykonania decydujący jest jedynie stan techniki obowiązujący w momencie odbioru zlecenia. Ponieważ w momencie montażu i odbioru urządzenia piorunochronnego wiążące są jedynie nowe normy ochrony odgromowej, należy wykonywać urządzenia piorunochronne według tych norm. Nie wystarczy, jeżeli zlecenie odpowiadało zasadom techniki w momencie jego prezentacji, jeśli między podpisaniem umowy, rozpoczęciem prac i ich odbiorem zmieniają się ustalenia techniczne, a co za tym idzie – zasady techniki.

Instalacje, które zostały już wykonane i przyjęte na podstawie starych norm, nie stają się wadliwe przez to, że wskutek aktualizacji norm wymagany jest „wyższy standard techniczny”. Urządzenia piorunochronne, z wyjątkiem urządzeń piorunochronnych instalacji nuklearnych, podlegają ochronie stanu faktycznego, tzn. nie muszą być dopasowywane do aktualnego stanu techniki. Instalacje już istniejące są badane w ramach procedur kontrolnych zgodnych z tą normą, według której zostały zamontowane.

1.3 Normy produktowe

Materiały, komponenty i elementy konstrukcyjne stosowane w urządzeniach piorunochronnych muszą być zaprojektowane i poddawane kontroli pod kątem obciążenia elektrycznego, mechanicznego i chemicznego (np. korozja) spodziewanego podczas eksploatacji. Dotyczy to zarówno zewnętrznego jak i wewnętrznego urządzenia piorunochronnego.

IEC 62561-1 (EN 62561-1): Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Wymagania dotyczące elementów połączeniowych

Norma ta opisuje procedury testowe dla metalowych części łączących. Normie tej podlegają następujące elementy konstrukcyjne:

- ➔ zaciski,
- ➔ złączki,
- ➔ elementy połączeniowe,
- ➔ elementy mostkujące,
- ➔ elementy kompensacyjne,
- ➔ zaciski probiercze.

Zaciski i złączki firmy DEHN spełniają wymogi powyższej normy testowej.

IEC 62561-2 (EN 62561-2): Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziołów

Norma ta określa wymogi w stosunku do przewodów, zwodów, przewodów uziemiających i uziołów.

IEC 62561-3 (EN 62561-3): Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Wymagania dotyczące iskierników izolacyjnych (separacyjnych) (ISG)

IEC 62561-4 (EN 62561-4): Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Wymagania dotyczące uchwytów

IEC 62561-5 (EN 62561-5): Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Wymagania dotyczące uziomowych studzienek kontrolnych i ich uszczelnień

IEC 62561-6 (EN 62561-6): Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Wymagania dotyczące liczników udarów piorunowych (LSC)

IEC 62561-7 (EN 62561-7): Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Wymagania dotyczące substancji poprawiających jakość uziemień

IEC 61643-11 (EN 61643-11): Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia – Wymagania i metody badań

Norma opisuje wymogi dotyczące testów i kontroli urządzeń ochrony przepięciowej (SPD, *surge protective devices*) chroniących przed oddziaływaniem bezpośrednich i pośrednich uderzeń pioruna.

IEC 61643-12 (CLC/TS 61643-12): Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia – Zasady doboru i stosowania

Tę specyfikację techniczną należy stosować razem z normą IEC 61643-11 (EN 61643-11). Zawiera ona informacje o parametrach istotnych dla prawidłowego doboru SPD oraz dalsze informacje o koordynacji tych urządzeń z uwzględnieniem całego otoczenia roboczego zamontowanych urządzeń ochrony. Są to np. urządzenia podlegające ochronie, właściwości systemowe, poziom izolacji, rodzaj przepięć, procedura instalacyjna, miejsce zamontowania urządzeń ochrony przepięciowej, rodzaje uszkodzeń i skutki ew. awarii podlegających ochronie urządzeń. Specyfikacja techniczna opisuje zasady doboru, działania i koordynacji urządzeń SPD podłączonych do sieci prądu zmiennego 50/60 Hz i urządzeń o napięciu znamionowym do 1000 V

(wartość skuteczna). Niniejsza specyfikacja traktuje jedynie o urządzeniach ochrony przepięciowej w instalacjach elektrycznych w budynkach. SPD zabudowane wewnątrz urządzeń nie są brane pod uwagę

IEC 61643-21 (EN 61643-21): Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych

Norma ta opisuje wymagania dotyczące wydajności i procedurę testową dla urządzeń ochrony przepięciowej służących do ochrony sieci telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych, jak np:

- ➔ sieci danych,
- ➔ sieci transmisji głosu,
- ➔ systemy alarmowe i
- ➔ systemy automatyki.

IEC 61643-22 (CLC/TS 61643-22): Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia – Urządzenia do ograniczania przepięć w sieciach telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych – Zasady doboru i zastosowania

Ta norma opisuje zasady prawidłowego doboru i stosowania urządzeń ochrony przepięciowej (SPD) służących do ochrony w sieciach telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych.

IEC 61663-1 (EN 61663-1): Ochrona odgromowa – Linie telekomunikacyjne – Instalacje światłowodowe

IEC 61663-2 (EN 61663-2): Ochrona odgromowa – Linie telekomunikacyjne – Linie wykonywane przewodami metalowymi

Dodatek 1 do niemieckiej normy DIN VDE 0845 (Dodatek 1 do niemieckiej normy VDE 0845): Ochrona urządzeń informatycznych (instalacji IT) przed przepięciami

Dodatek ten zawiera informacje uzupełniające na temat ochrony przepięciowej instalacji informatycznych. Ustalenia normatywne w tym zakresie znajdują się w normach IEC 61663-1 (EN 61663-1), IEC 61663-2 (EN 61663-2) oraz IEC 61643-21 (EN 61643-21).



Charakterystyka prądu piorunowego

2.1 Wyładowanie atmosferyczne i przepływ prądu piorunowego

Co roku na terenie Niemiec dochodzi średnio do ok. 1,5 miliona wyładowań atmosferycznych. Przy powierzchni rzędu 357.042 km² odpowiada to średniej gęstości 4,2 uderzenia pioruna na kilometr kwadratowy rocznie. Rzeczywista gęstość wyładowań doziemnych jest jednakże daleko bardziej zależna od uwarunkowań geograficznych. Orientacyjne wartości można odczytać z mapy gęstości wyładowań doziemnych na **rysunku 3.2.3.1**. Im dokładniej poprowadzony jest raster karty gęstości wyładowań atmosferycznych, tym precyzyjniej można odczytać informacje o rzeczywistej częstotliwości uderzeń pioruna na danym obszarze.

W Niemczech obecnie możliwe jest zlokalizowanie uderzenia pioruna z dokładnością do 200 m dzięki systemowi lokalizacji wyładowań atmosferycznych BLIDS firmy Siemens. W tym celu na terenie Europy postawiono 145 stacji pomiarowych. Są one zsynchronizowane ze sobą za pośrednictwem bardzo precyzyjnego sygnału czasu w ramach systemu GPS (*Global Positioning System*). Stacja pomiarowa rejestruje moment dotarcia fali elektromagnetycznej wyładowania atmosferycznego do odbiornika. Miejsce uderzenia pioruna jest obliczane na podstawie różnic czasu dotarcia fali elektromagnetycznej do poszczególnych odbiorników i odpowiadających im różnic czasu, jaki fala elektromagnetyczna potrzebuje na dotarcie z miejsca uderzenia pioruna do odbiorników. Tak uzyskane dane są centralnie archiwizowane i oddane do dyspozycji użytkownikom w różnych zestawieniach. Więcej informacji na temat tej usługi można znaleźć na stronie www.siemens.de/blids.

Burze powstają, gdy ciepłe masy powietrza o wystarczająco wysokiej wilgotności przemieszczają się na dużą wysokość. Ruch ten może się odbywać na różne sposoby. W przypadku burz termicznych grunt nagrzewany jest lokalnie przez intensywne promieniowanie słoneczne. Warstwy powietrza znajdujące się bezpośrednio nad gruntem ogrzewają się i unoszą. Przy burzach frontowych chłodniejsze powietrze nasuwa się wskutek wtargnięcia zimnego frontu pod masy ciepłego powietrza, wymuszając jego wznoszenie się. W przypadku burz orograficznych ciepłe warstwy powietrza znad powierzchni gruntu zmuszone są do wznoszenia poprzez ukształtowanie terenu. Dodatkowe efekty fizyczne powodują jeszcze intensywniejsze wznoszenie się mas powietrza. Powoduje to wykształcanie się torów prądów oddolnych z prędkościami pionowymi do 100 km/h, które tworzą potężnie spiętrzone chmury kłębiaste o wysokości średnio 5-12 km i średnicy ok. 5-10 km. Kropelki wody i cząsteczki lodu w chmurze ulegają naładowaniu poprzez elektrostatyczne procesy rozdzielania ładunków, np. tarcie lub rozpryskiwanie.

W górnej części chmury burzowej zbierają się cząsteczki z ładunkiem dodatnim, zaś w dolnej – naładowane ujemnie. Dodatkowo w podstawie chmury znajduje się jeszcze jedno małe centrum cząstek o dodatnim ładunku. Bierze ono swój początek w wyładowaniu koronowym, które pochodzi od ostro zakończonych przedmiotów na powierzchni ziemi (np. roślin) i jest unoszone przez wiatr do góry.

Jeżeli w którejś komórce burzowej występują gęstości ładunków przestrzennych wytwarzające pole elektryczne o natężeniu rzędu kilkuset kV/m, dochodzi do wyładowań liderowych (pilotujących), które rozpoczynają wyładowanie atmosferyczne. Pioruny o kierunku chmura-chmura powodują wyrównanie ładunków między dodatnimi i ujemnymi centrami ładunków chmury i nie trafiają bezpośrednio w żadne obiekty na powierzchni ziemi. Jednakże należy je także brać pod uwagę ze względu na zagrożenie systemów elektrycznych i elektronicznych emitowanymi przez nie piorunowymi impulsami elektromagnetycznymi (LEMP, *Lightning ElectroMagnetic Pulse*).

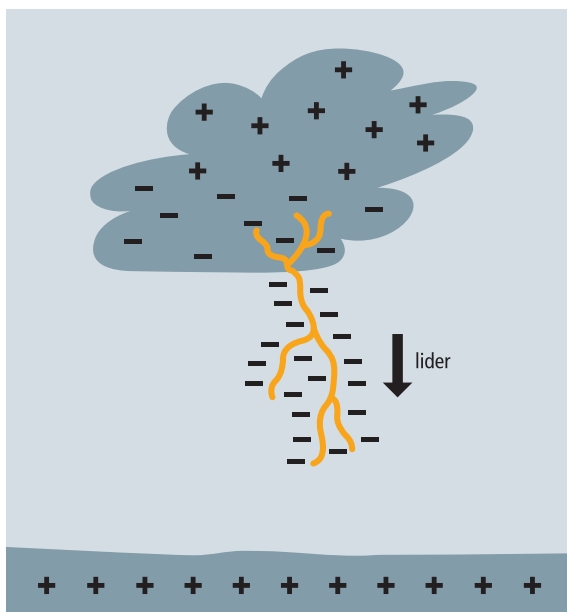
Wyładowania doziemne prowadzą do wyrównania ładunków między chmurą a ładunkiem elektrostatycznym na powierzchni ziemi. Można wyróżnić dwa rodzaje wyładowań doziemnych:

- ➔ wyładowania odgórne (chmura-ziemia),
- ➔ wyładowania oddolne (ziemia-chmura).

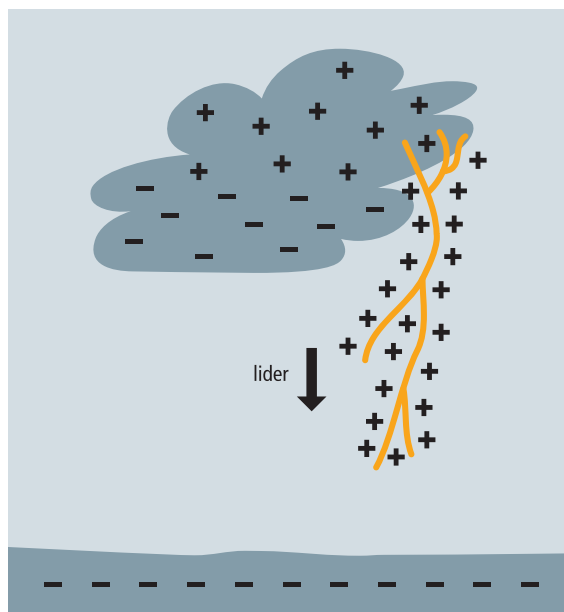
W przypadku wyładowań odgórnych wyładowanie prowadzone jest przez lider skierowany do dołu – od chmury do ziemi. Występują one najczęściej na płaskim obszarze i wśród niskiej zabudowy. Dla piorunów chmura-ziemia charakterystyczne są skierowane do ziemi rozgałęzienia (**rys. 2.1.1**). Najczęściej występują ujemne wyładowania odgórne, w których naładowany ujemnie kanał lidera (lider) przesuwają się od chmury burzowej do ziemi (**rys. 2.1.2**). Lider ten przyrasta skokowo z prędkością ok. 300 km/h o kilka-



Rys. 2.1.1 Wyładowanie odgórne (wyładowanie chmura-ziemia)



Rys. 2.1.2 Mechanizm ujemnego wyładowania odgórnego (wyładowanie chmura-ziemia)



Rys. 2.1.3 Mechanizm dodatniego wyładowania odgórnego (wyładowanie chmura-ziemia)

dziesiąt metrów. Przerwa między skokami wynosi kilkadziesiąt μ s. W momencie zbliżania się lidera do ziemi (na kilkaset do kilkudziesięciu metrów) podnosi się natężenie pola elektrycznego sąsiadujących z nim elementów na powierzchni ziemi (np. na drzewach lub szczytach budynków). Jest ono tak duże, że przekroczona zostaje wytrzymałość elektryczna powietrza i w stronę lidera wychodzi wyładowanie oddolne, spotykające się później z liderem i wywołujące wyładowanie główne.

Dodatnie wyładowania odgórne mogą powstawać z dolnego obszaru chmury burzowej o dodatnim ładunku (**rys. 2.1.3**). Stosunek polaryzacji wynosi ok. 90% piorunów o ładunku ujemnym do 10% tych o ładunku dodatnim. Podział ten jest zależny od położenia geograficznego.

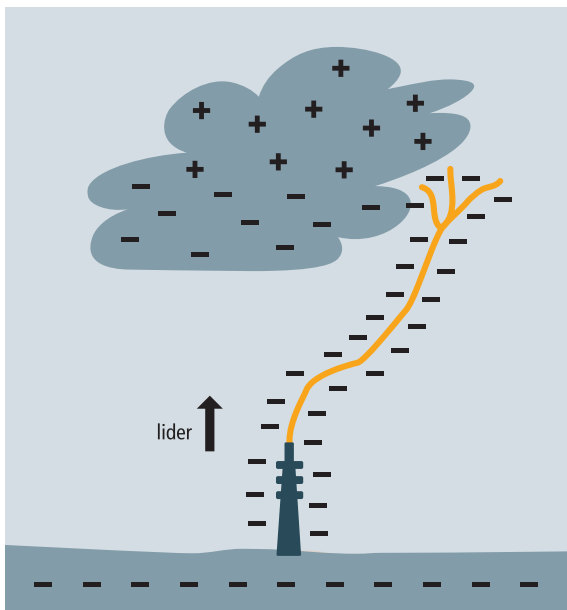
Na bardzo wysokich, wyeksponowanych obiektach (np. turbiny wiatrowe, maszty radiowe, wieże przekaźnikowe, wieże kościelne) lub na szczytach górskich mogą powstawać wyładowania oddolne (wyładowania ziemia-chmura). Ich cechą charakterystyczną są skierowane do góry rozgałęzienia wyładowania (**rysunek 2.1.4**). W przypadku tych wyładowań potrzebne do wywołania lidera wysokie natężenie pola elektrycznego powstaje nie w chmurze, lecz poprzez zakrzywienie pola elektrycznego na eksponowanym obiekcie. Lider wychodzi z tego punktu i przesuwa się wraz ze swoim kanałem ładunków w kierunku chmury. Mamy do czynienia z wyładowaniami oddolnym zarówno o ujemnej (**rys. 2.1.5**), jak i dodatniej (**rys. 2.1.6**) polaryzacji. W wyładowaniach oddolnych lider przyrasta od wyeksponowanego obiektu na powierzchni ziemi w kierunku chmury, dlatego też w trakcie burzy wysokie obiekty mogą być wielokrotnie trafiane piorunem.

W zależności od rodzaju każde wyładowanie składa się z większej liczby wyładowań częściowych. Rozróżnia się przy tym udary krótkie o czasie trwania mniejszym niż 2 ms i udary długie o czasie trwania większym niż 2 ms. Kolejnymi cechami wyróżniającymi wyładowania częściowe są: polaryzacja (dodatnia lub ujemna) i położenie czasowe w wyładowaniu (pierwsze, kolejne i nałożone wyładowanie częściowe). Możliwe kombinacje wyładowań częściowych pokazuje **rysunek 2.1.7** (wyładowania odgórne) i **rysunek 2.1.8** (wyładowania oddolne).

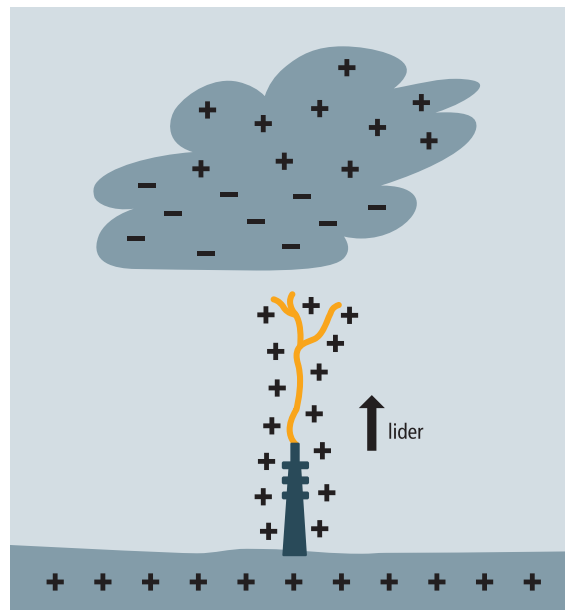
Prądy piorunowe składające się z udarów krótkich i udarów długich są tzw. prądami czynnymi, tzn. obiekty trafione piorunem nie wpływają w żaden sposób na te prądy. Na podstawie odwzoro-



Rys. 2.1.4 Wyładowania oddolne (wyładowanie ziemia-chmura)



Rys. 2.1.5 Mechanizm ujemnego wyładowania oddolnego (wyładowanie ziemia-chmura)



Rys. 2.1.6 Mechanizm dodatniego wyładowania oddolnego (wyładowanie ziemia-chmura)

wanych na **rysunkach 2.1.7 i 2.1.8** przepływów prądu piorunowego można wywnioskować następujące istotne dla ochrony odgromowej parametry oddziaływania:

- ➔ wartość szczytowa prądu udarowego I ,
- ➔ ładunek prądu piorunowego Q_{flash} , składający się z ładunku prądu udarowego Q_{short} i ładunku prądu długotrwałego Q_{long} ,
- ➔ energia właściwa W/R prądu piorunowego,
- ➔ stromość di/dt narastania prądu piorunowego.

W kolejnych punktach zostanie pokazane, za które oddziaływania prądu odpowiedzialne są poszczególne parametry i jak wpływają one na dobór elementów urządzenia piorunochronnego.

2.2 Wartość szczytowa prądu piorunowego

Prądy piorunowe są prądami wymuszonymi, tzn. wyładowanie piorunowe można traktować jako prawie idealne źródło prądu. Jeżeli prąd elektryczny wymuszony przepływa przez części przewodzące, to na podstawie amplitudy prądu i impedancji przewodzących elementów, przez które on przepływa, dochodzi do spadku napięcia na części przewodzącej. W najprostszy sposób opisuje tę zależność prawo Ohma:

$$U = I \cdot R$$

- I wartość szczytowa prądu piorunowego
- R rezystancja uziemienia

Jeżeli prąd trafi choćby w jednym punkcie na jednorodną powierzchnię przewodzącą, powstaje zjawisko znane jako „lej potencjału”. Zjawisko to pojawia się także przy uderzeniu pioruna w jednorodny grunt (**rys. 2.2.1**). Jeżeli w obrębie wspomnianego leja potencjału znajdują się żywe stworzenia (ludzie lub zwierzęta), to pojawia się napięcie krokowe, którego następstwem może być niebezpieczny przepływ prądu przez organizm (**rys. 2.2.2**). Im większa jest przewodność gruntu, tym bardziej płaski kształt ma lej potencjału. Ryzyko niebezpiecznych napięć krokowych jest tym samym mniejsze.

Kiedy piorun uderza w budynek wyposażony w urządzenie piorunochronne, prąd odprowadzany przez jego elementy powoduje spadek napięcia na rezystancji uziemienia R_E instalacji uziemiającej budynku (**rys. 2.2.3**). Dopóki wszystkie przewodzące części w budynku będące w zasięgu ręki mają ten sam wysoki potencjał, nie ma zagrożenia dla osób w nim przebywających. Stąd wynika potrzeba utworzenia połączenia wyrównawczego dla wszystkich przewodzących części wewnątrz budynku, z którymi jest możliwa styczność i wszystkich części przewodzących obcych wprowadzonych do budynku. Jeżeli zostanie to zaniedbane, zachodzi niebezpieczeństwo powstania krytycznych napięć dotykowych przy uderzeniu pioruna.



Zewnętrzne urządzenie piorunochronne

5.1 Układ zwodów

Zadaniem zwodów w urządzeniu piorunochronnym jest zabezpieczenie chronionych obiektów przed bezpośrednim trafieniem pioruna. Powinny one być tak zaprojektowane, aby zapobiegać niekontrolowanym uderzeniom pioruna w chroniony budynek lub obiekt. Dzięki poprawnie rozmieszczonej układowi zwodów można w kontrolowany sposób zmniejszyć skutki uderzenia pioruna.

Układ zwodów może być utworzony przez dowolne połączenie następujących elementów:

- ➔ prętów,
- ➔ przewodów zawieszonych (drutów lub linek),
- ➔ przewodów w układzie oczkowym.

Podczas ustalania lokalizacji zwodów należy zwrócić szczególną uwagę na zabezpieczenie rogów i krawędzi chronionego obiektu. Dotyczy to zwłaszcza zwodów na dachach i górnych częściach fasad. Zwody powinny być umieszczone przede wszystkim na rogach i krawędziach.

Do ustalenia najlepszego miejsca montażu zwodu można wykorzystać jedną z trzech metod (**rys. 5.1.1**):

- ➔ metoda toczącej się kuli,
- ➔ metoda oczkowa,
- ➔ metoda kąta ochronnego.

Metoda toczącej się kuli jest najbardziej uniwersalna i zaleca się jej stosowanie szczególnie w przypadku obiektów o skomplikowanej bryle.

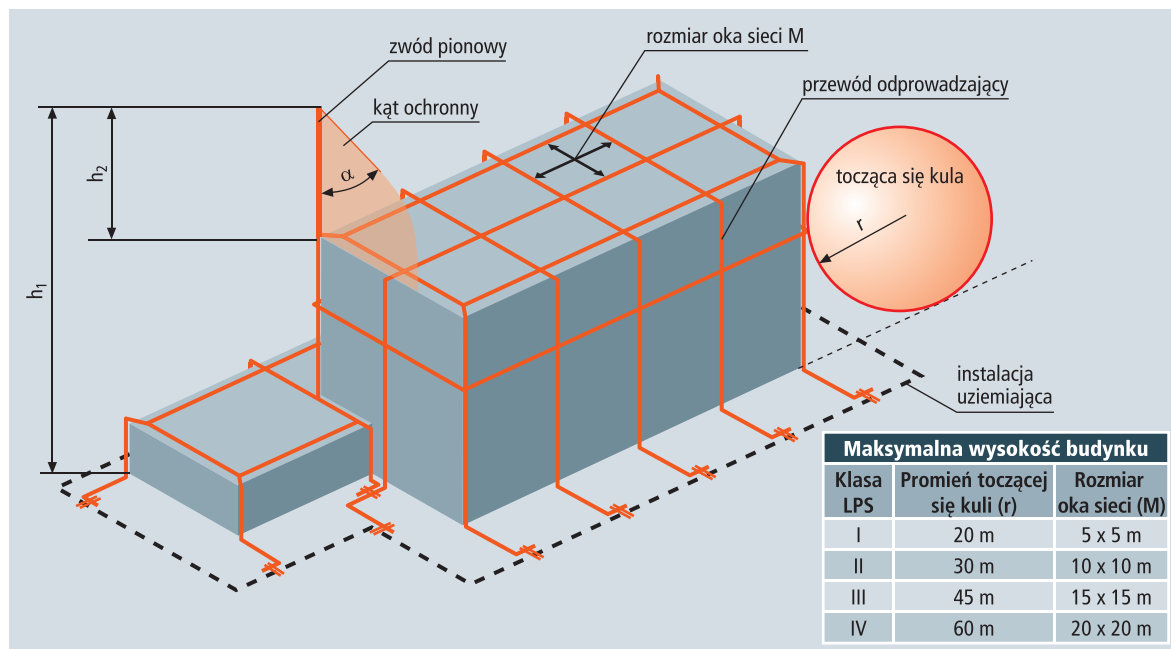
Poniżej przedstawiono trzy wymienione metody.

5.1.1 Rodzaje układów zwodów i metody ich rozmieszczania

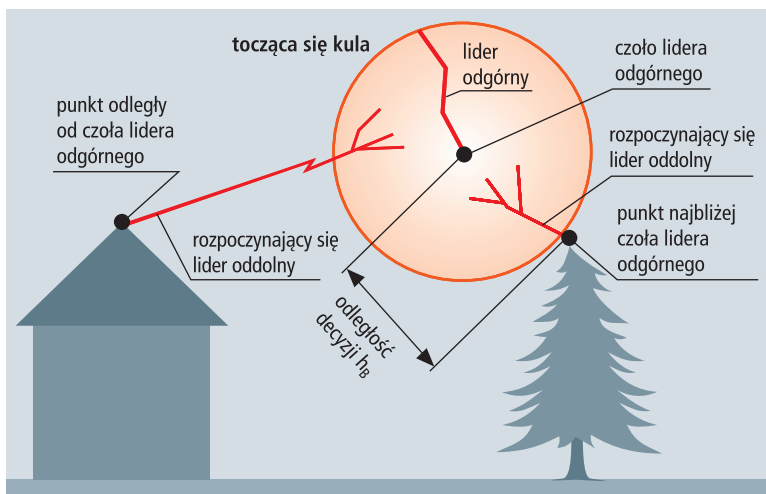
Metoda toczącej się kuli – model elektrogeometryczny

W przypadku wyładowań chmura-ziemia lider pioruna (wyładowanie pilotujące) przyrasta krokowo w grzbiecie chmury w kierunku ziemi. Kiedy zbliży się do ziemi na kilkaset do kilkudziesięciu metrów, przekroczone zostają elektryczne właściwości izolacyjne warstw powietrza zgromadzonych nad poziomem gruntu. Od ziemi zaczyna narastać w kierunku czoła lidera wyładowanie podobne do liderowego: wyładowanie oddolne. W ten sposób determinuje się miejsce uderzenia pioruna (**rys. 5.1.1.1**).

Miejsce startu lidera oddolnego, a tym samym późniejsze miejsce uderzenia pioruna, jest wyznaczone przede wszystkim przez czoło lidera. Czoło wyładowania odgórnego może zbliżyć się do ziemi tylko na pewną odległość. Jest ona określona przez narastające nieprzerwanie natężenie pola gruntu w czasie zbliżania się czoła wyładowania. Najmniejszą odległość między czołem lidera odgórnego i miejscem startowym lidera oddolnego nazywamy odległością decyzji h_B (odpowiada promieniowi toczącej się kuli).



Rys. 5.1.1 Metoda projektowania układu zwodów dla wysokich budynków



Rys. 5.1.1.1 Rozpoczynające się wyładowanie oddolne ustalające punkt uderzenia



Jak pokazuje model, tocząca się kula może dotykać nie tylko wieży, ale także w wielu miejscach nawet kościelną. Wszystkie te miejsca styku są miejscami potencjalnego uderzenia pioruna.

Rys. 5.1.1.2 Model toczącej się kuli; źródło: prof. dr A. Kern, Akwizgran

Bezpośrednio po przekroczeniu elektrycznych zdolności izolacyjnych w danym miejscu powstaje wyładowanie oddolne prowadzące do punktu decyzji, jeśli odległość między nimi jest mniejsza od odległości decyzji. Bazując na zaobserwowanym działaniu ochronnym przewodów odgromowych i słupów wysokiego napięcia, opracowano tzw. **model elektrogeometryczny**.

Opiera się on na hipotezie, że czoło lidera odgórnego zbliża się – nie podlegając żadnym wpływom – do obiektów na ziemi aż do odległości decyzji. Miejsce uderzenia jest następnie determinowane przez obiekt znajdujący się w najmniejszej odległości od czoła wyładowania. Rozpoczynający się tutaj lider oddolny „toruje sobie drogę” (rys. 5.1.1.2).

Podział klas ochrony i promień toczącej się kuli

Stosując przybliżenie, można powiedzieć, że wartość szczytowa prądu piorunowego jest proporcjonalna do wielkości ładunku elektrycznego zgromadzonego w czołe wyładowania pilotującego. Co więcej, elektryczne natężenie pola przy powierzchni gruntu podczas narastania wyładowania pilotującego jest w przybliżeniu liniowo zależne od ładunku zgromadzonego w liderze. Zachodzi więc proporcjonalna zależność między wartością szczytową I prądu piorunowego i odległością decyzji h_b (równą promieniowi toczącej się kuli):

$$r = 10 \cdot I^{0,65}$$

r w m

I w kA

Ochrona obiektów budowlanych opisana jest w normie IEC 62305-1 (EN 62305-1). Norma ta definiuje m.in. podział na poszczególne poziomy ochrony odgromowej / klasy LPS i określa wynikające z tego środki ochrony.

Norma rozróżnia cztery klasy LPS. Klasa I zapewnia najwyższy, zaś klasa IV porównywalnie najniższy poziom ochrony. Z daną klasą ochrony idzie w parze skuteczność przechwytywania E_t zwodów, tzn. jaka część spodziewanych trafień pioruna bezpiecznie przejmowana i odprowadzana przez urządzenie piorunochronne. Wynika z tego odległość decyzji, a z niej z kolei promień toczącej się kuli. Zależności między poziomem ochrony odgromowej / klasą LPS, prawdopodobieństwem przechwycenia przez układ zwodów, odległością decyzji / promieniem toczącej się kuli i wartością szczytową prądu piorunowego są przedstawione w **tabeli 5.1.1.1**.

Bazując na hipotezie modelu elektrogeometrycznego mówiącej o tym, że czoło wyładowania zbliża się do obiektów na ziemi przypadkowo i bez podlegania wpływom – aż do odległości decyzji, można opracować ogólną procedurę do wyznaczania przestrzennej chronionej przy dowolnym układzie przestrzennym obiektu. Do zastosowania metody toczącej się kuli potrzebny jest model chronionego obiektu w skali (np. 1: 100), w którym odtworzone są kontury zewnętrzne i ewentualnie zwody. W zależności od lokalizacji obiektu, który ma być chroniony, konieczne jest włączenie do modelu także okolicznych budynków i obiektów, ponieważ mogą one działać dla naszego budynku jako „naturalne środki ochrony”.

Poza tym potrzebny jest odpowiadający danej klasie LPS model kuli w danej skali, o promieniu odpowiadającym odległości decyzji (promień r kuli musi – w zależności od klasy LPS – w odpowiedniej skali odpowiadać promieniom 20, 30, 45 lub 60 m). Punkt środkowy użytej kuli odpowiada czołu wyładowania, do którego wyształcają się wyładowania oddolne.

Kula przetacza się wokół badanego obiektu, zaznaczając punkty styku, będące potencjalnymi miejscami trafienia pioruna. Nastę-

- ➔ uziemienie anten zgodnie z normą DIN VDE 0855 (norma niemiecka),
- ➔ kompatybilność elektromagnetyczna (EMCV)
- ➔ stacje transformatorowe w lub obok obiektów budowlanych z uwzględnieniem zapisów normy EN 50522.

5.5.2 Instalacje uziemiające, uziomy fundamentowe i uziomy fundamentowe dla budynków o szczególnych uwarunkowaniach

Uziomy fundamentowe – uziomy typu B

W normie DIN 18014 (niemiecka norma) znajduje się specyfikacja wymogów w stosunku do uziomów fundamentowych dla nowych obiektów budowlanych.

Wiele norm krajowych, jak również międzynarodowych, określa uziomy fundamentowe jako preferowany rodzaj uziomu, ponieważ zainstalowany profesjonalnie jest on z każdej strony obłany betonem, a przez to odporny na korozję. Beton zapewnia z reguły wystarczająco niską rezystancję uziemienia dzięki swoim higroskopijnym właściwościom.

Uziomy fundamentowy musi być układany jako zamknięty pierścień w fundamencie pasmowym lub w płycie fundamentowej (rys. 5.5.2.1), dzięki temu spełnia on zadanie funkcjonalnego wyrównania potencjałów. Należy uwzględnić także podział na oczka ≤ 20 m x 20 m, jak również wyprowadzić wymagane elementy do przyłączenia na zewnątrz dla przewodów odprowadzających zewnętrznego urządzenia piorunochronnego i do wewnątrz dla wyrównania potencjałów (rys. 5.5.2.2). Zgodnie z zapisami normy DIN 18014 instalowanie uziomu fundamentowego jest działaniem elektrotechnicznym i musi być dokonane bądź ewentualnie nadzorowane przez **certyfikowanego specjalistę z zakresu ochrony odgromowej** lub **elektryka**. Kwestia samego ułożenia uziomu fundamentowego, zależy do środków koniecznych dla zagwarantowania, że będzie on z każdej strony obłany betonem.

Układanie uziomów w betonie niezbrojonym

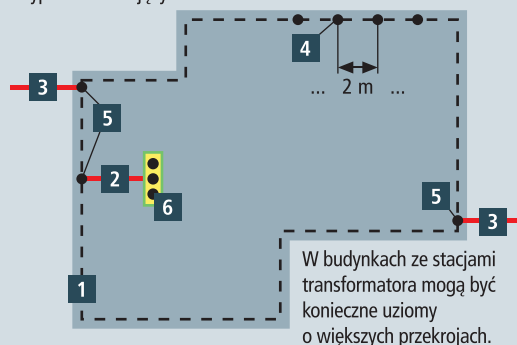
W fundamentach niezbrojonych, np. fundamentach pasmowych w budynkach mieszkalnych (rys. 5.5.2.3), konieczne jest zastosowanie elementów dystansujących. Tylko przez zastosowanie takich elementów w odstępach ok. 2 m można zagwarantować, że uziom (St/tZn) zostanie „podniesiony” i zalany z każdej strony betonem (min. 5 cm) tak, aby był on zabezpieczony przed korozją.

Układanie uziomów w betonie zbrojonym

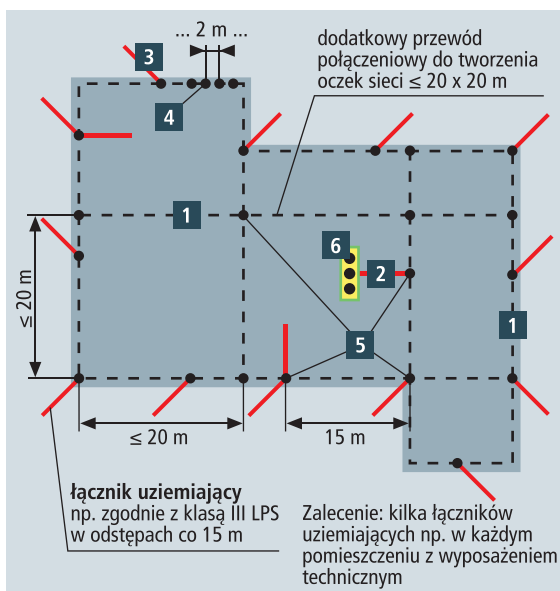
Uziomy fundamentowe instalowane są w fundamentach ze zbrojeniem zamkniętym na najniższej warstwie zbrojenia. Jeżeli uziom z drutu okrągłego lub taśmy stalowej (ocynkowanej) jest zainstalowany profesjonalnie, to powinien być on zalany betonem

Uziomy fundamentowy 1

- drut okrągły (\varnothing 10 mm) lub taśma (30 mm x 3.5 mm), St/tZn
- minimum 5 cm warstwy betonu
- zamknięty pierścień
- połączenie ze zbrojeniem co 2 m by za pomocą zacisku 4
- Łącznik uziemiający 2 do głównej szyny uziemiającej 6 oraz
- łączniki uziemiające 3 długości przynajmniej 1,5 m
- do zewnętrznego urządzenia piorunochronnego z zaciskiem SV 5,
- czytelnie oznakowane
- drut okrągły, stal nierdz., np. materiał AISI/ASTM 316 Ti (V4A), 10 mm
- taśma, stal nierdz., np. materiał AISI/ASTM 316 Ti (V4A), 30 x 3,5 mm
- drut okrągły, StZn, \varnothing 10 mm, z plastikowym płaszczem
- wypust uziemiający



Rys. 5.5.2.1 Uziomy fundamentowy z łącznikiem uziemiającym



Rys. 5.5.2.2 Sieć uziomów fundamentowych



Rys. 5.5.2.3 Uziom fundamentowy



Rys. 5.5.2.4 Zastosowanie uziomu fundamentowego

na min. 5 cm i w ten sposób zabezpieczony przed korozją. Beton zapewnia z reguły wystarczająco niską rezystancję uziemienia dzięki swoim higroskopijnym właściwościom

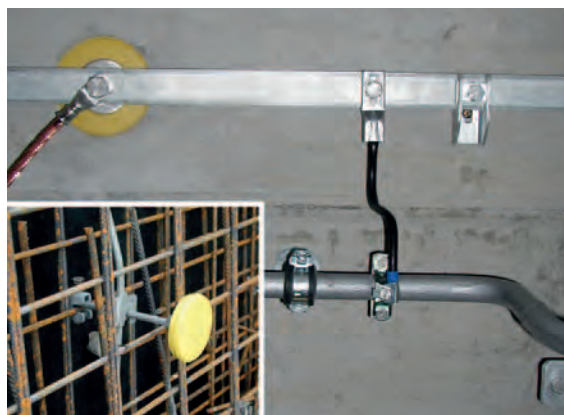
Używając mat stalowych, koszy zbrojeniowych lub prętów zbrojeniowych w fundamentach, należy połączyć uziom fundamentowy z wymienionymi naturalnymi komponentami co 2 m za pomocą zacisków lub spawów. W ten sposób poprawia się funkcjonalność uziomu fundamentowego.

Dzięki nowoczesnym metodom wylewania betonu w zbrojonych fundamentach betonowych z końcowym wibrowaniem / uszczelnianiem istnieje gwarancja, że także w przypadku poziomego ułożenia taśmy płaskiej beton „spłynie” i otoczy ją z każdej strony tak, aby była zapewniona odporność na korozję. Nie jest więc konieczne układanie taśmy płaskiej na sztorc, jeżeli beton jest zagęszczany maszynowo.

Rysunek 5.5.2.4 pokazuje przykład zastosowania poziomego ułożenia taśmy płaskiej jako uziomu fundamentowego. Punkty krzyżowania się uziomu fundamentowego muszą być połączone w sposób wytrzymały na przepływ prądu. Materiałem wystarczającym na wykonanie uziomu fundamentowego jest stal ocynkowana.

Łączniki uziemiające wyprowadzone na zewnątrz do gruntu muszą być w miejscu wyjścia dodatkowo zabezpieczone przed korozją. Można tu zastosować np. drut stalowy w płaszczu z tworzywa sztucznego (ze względu na niebezpieczeństwo uszkodzenia płaszczka z tworzywa w niskich temperaturach należy zachować szczególną staranność montażu), wysokostopową stal szlachetną, np. o numerze AISI/ASTM 316 Ti lub wypusty uziemiające (**rys. 5.5.2.5**).

W trakcie montażu uziomu fundamentowego należy wykonać sieć o oczkach nie większych niż 20 m x 20 m. Rozmiar oczek nie jest uzależniony od klas LPS (**rys. 5.5.2.6**).



Rys. 5.5.2.5 Wypust uziemiający



Rys. 5.5.2.6 Uziom fundamentowy o strukturze sieciowej

du. Z uwagi na ułożenie przewodów na powierzchni dachu w sieć o wąskich oczkach, tworzą się ścieżki odprowadzenia prądu o różnych długościach. Ponadto prąd pioruna rozprzyna się odpowiednio do punktów węzłowych w następujący sposób:

- ➔ 1. Podstawa zwodu pionowego (dwa przewody odprowadzające)

$$k_{c1} = 0,5 \text{ dla długości przewodu } l_1 = 8,0 \text{ m}$$

- ➔ 2. Punkt węzłowy 1 (dwa przewody odprowadzające)

$$k_{c2} = 0,25 \text{ dla długości przewodu } l_2 = 4,0 \text{ m}$$

- ➔ 3. Punkt węzłowy 2 (dwa przewody odprowadzające)

$$k_{c3} = 0,125 \text{ dla długości przewodu } l_3 = 10,0 \text{ m}$$

- ➔ 4. Punkt węzłowy 3 (trzy przewody odprowadzające)

$$k_{c4} = 0,063 \text{ dla długości przewodu } l_4 = 10,0 \text{ m}$$

- ➔ 5. Punkt węzłowy 4 (trzy przewody odprowadzające)

$$k_{c5} = 0,042 \text{ dla długości przewodu } l_5 = 8,0 \text{ m}$$

Odstęp separujący obliczany jest według następującego wzoru:

$$s = \frac{k_i(k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot l_2 + \dots + k_{cn} \cdot l_n)}{k_m}$$

$$s = \frac{0,06(0,5 \cdot 8m + 0,25 \cdot 4m + 0,125 \cdot 10m + 0,063 \cdot 10m + 0,042 \cdot 8m)}{0,5}$$

s = 0,87 w materiale stałym

Przy podstawie klimatyzatora należy zachować odstęp separujący wielkości 0,87 m w materiale stałym.

Określenie poziomu zerowego potencjału

Do obliczeń odstępu separującego ważne jest określenie poziomu zerowego potencjału. W budynkach znajduje się on na wysokości uziomu fundamentowego lub otokowego. Stąd określenie poziomu zerowego potencjału jest decydujące dla wartości odstępu separującego s.

W budynkach posiadających połączone zbrojenie ścian oraz sufitów odporne na prąd piorunowy można wykorzystywać je jako część systemu przewodów odprowadzających. W takiej sytuacji nie ma potrzeby zachowywania odstępu separującego, ponieważ całkowity potencjał pozostaje na takim samym poziomie. Z reguły na powierzchniach dachów położone są izolacje lub folie dachowe jako część pokrycia dachowego. Na nich instaluje się oczkowe układy zwodów, które są przyłączone do zbrojenia w obszarze atyki. W momencie uderzenia pioruna w okolicy oczka sieci, jak również w miejscach przebiegu przewodów należy zachować wymagane odstępy separujące. Dlatego też zaleca się instalowanie izolowanych przewodów pozwalających na zachowanie odstępu separującego.

W przypadku budynków posiadających powiązany szkielet stalowy, jak również dach metalowy, można przyjąć wysokość poziomu zerowego potencjału równą wysokości budynku. W takim przypadku nie zachowuje się odstępow separujących.

Ogólnie rzecz biorąc, powinno się uwzględniać wymogi zgodne z normą IEC 62305-3 (EN 62305-3). Obliczenia odstępu separującego s można łatwo wykonać za pomocą modułu DEHN Distance Tool w programie DEHNSupport. Procedura obliczeniowa bazuje na opisanym w rozdziale 3.3.2.1 metodzie potencjałów węzłowych.

5.7 Napięcie krokowe i dotykowe

Norma IEC 62305-3 (EN 62305-3) wskazuje na fakt, że w szczególnych przypadkach poza obrębem budynku napięcie dotykowe lub napięcie krokowe w pobliżu przewodów odprowadzających może stwarzać zagrożenie życia, mimo zaprojektowania urządzenia piorunochronnego zgodnie ze stanem obowiązujących norm. Takimi szczególnymi przypadkami są np. obszary wejść do budynku lub obszary zadaszone obiektów budowlanych w których może przebywać duża liczba osób, np. teatry, kina, centra handlowe, przedszkola, a w których znajdują się w bezpośredniej bliskości niez izolowane przewody odprowadzające lub uziomy.

W przypadku obiektów budowlanych o szczególnej ekspozycji (największym zagrożeniu trafieniem pioruna), dostępnych dla swobodnego publicznego ruchu osób, może być konieczne zastosowanie środków ochrony przed niedopuszczalnie wysokim napięciem krokowym i dotykowym.

Środki te (np. wysterowanie potencjału) stosuje się w pierwszej kolejności w kościołach, na wieżach widokowych, wieżach, masztach oświetleniowych obiektów sportowych oraz na mostach. Zbiorniki osób mogą powstawać w różnych miejscach (np. w obrębie wejść do centrów handlowych lub w okolicach wind przy wieżach widokowych). Zastosowanie środków mających na celu redukcję wspomnianego napięcia krokowego i dotykowego jest więc konieczne jedynie w tych szczególnych zagrożonych miejscach.

W takich wypadkach stosuje się wysterowanie potencjału, izolację gruntu lub inne, opisane poniżej środki. Można stosować kombinację poszczególnych środków ochrony.

Definicja napięcia dotykowego

Napięcie dotykowe jest napięciem oddziałującym na człowieka między powierzchnią ziemi na której stoi, a dotykany przez niego przewodem odprowadzającym. Droga przepływu prądu prowadzi od ręki poprzez ciało do stóp (**rys. 5.7.1**).

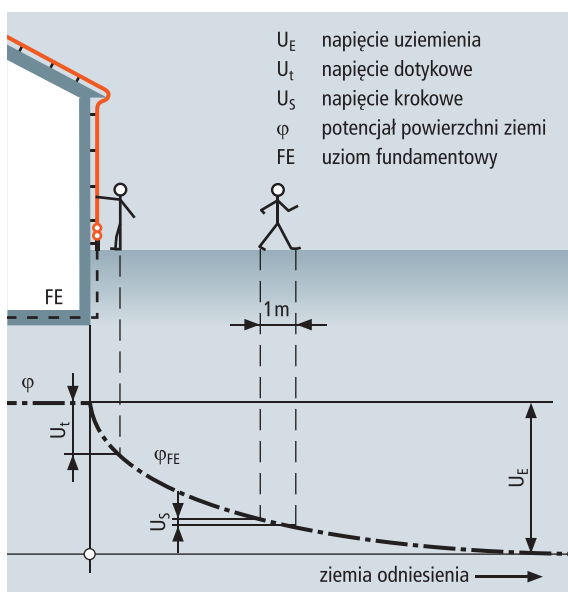
Niebezpieczeństwo wystąpienia niedopuszczalnie wysokiego napięcia dotykowego nie występuje w obiektach posiadających szkielet stalowy lub z betonu zbrojonego pod warunkiem, że zbrojenie jest pewnie połączone lub że przewody odprowadzające są ułożone w betonie.

Ponadto można nie brać pod uwagę napięcia dotykowego w budynkach posiadających metalową fasadę, o ile jest ona włączona do wyrównania potencjałów i/lub jest wykorzystywana jako naturalny przewód odprowadzający.

Jeżeli w obszarach zagrożonych poza obrębem obiektu budowlanego znajduje się tuż pod powierzchnią gruntu beton zbrojony z bezpiecznym połączeniem do uziomu fundamentowego, to taki środek ochrony poprawia znacząco przebieg leja potencjału i działa jak wysterylowanie potencjału. W związku z tym można pominąć w takiej sytuacji kwestię napięcia krokowego.

Niebezpieczeństwo porażenia człowieka wskutek styczności z przewodem odprowadzającym może zostać zredukowane przez następujące środki:

- ➔ Przewód odprowadzający jest otoczony płaszczem z materiału izolującego (polietylen sieciowany min. 3 mm, wykazujący wytrzymałość na udarowe napięcie w wysokości 100 kV, 1,2/50 μ s).
- ➔ Można zmienić położenie przewodów odprowadzających tak, aby nie znajdowały się one np. w obszarach wejścia do obiektu budowlanego.
- ➔ Można zredukować prawdopodobieństwo gromadzenia się osób w danym obszarze przez ustawienie znaków informacyjnych i znaków zakazu. Można też zastosować odgrodenie obszaru.
- ➔ Rezystancja przejścia warstwy gruntu w obrębie 3 m wokół przewodów odprowadzających jest nie mniejsza niż 100 k Ω .



Rys. 5.7.1 Napięcie krokowe i dotykowe

Uwaga: Warstwa materiału izolacyjnego, np. asfaltu, o grubości 5 cm (lub warstwa żwiru o grubości 15 cm) redukuje niebezpieczeństwo do ogólnie akceptowalnego poziomu (patrz: norma IEC 62305-3 (EN 62305-3), rozdział 8.1).

- ➔ Zagęszczenie oczek sieci instalacji uziemiającej w celu wysterylowania potencjału.

Uwaga: Rura spustowa – nawet, jeśli nie jest ona zdefiniowana jako przewód odprowadzający – może stwarzać zagrożenie dla osób w przypadku dotknięcia. W takim przypadku należy np. zastąpić rurę metalową rurą z tworzywa PVC (do wysokości – 3 m).

Definicja napięcia krokowego

Napięcie krokowe jest częścią napięcia uziemienia, które może być zmostkowane przez człowieka stojącego w wykroku o długości 1 m. Droga przepływu prądu przebiega przy tym przez ciało człowieka od stopy do stopy (rys. 5.7.1).

Napięcie krokowe jest zależne od formy leja potencjału. Jak to obrazuje grafika, napięcie krokowe zmniejsza się wraz z oddalaniem się od budynku. W związku z tym zagrożenie dla osób zmniejsza się wraz ze wzrostem odległości od obiektu budowlanego.

Można zastosować następujące środki w celu zredukowania napięcia krokowego:

- ➔ Uniemożliwienie dostępu osób do zagrożonych obszarów (np. poprzez ustawianie barier lub płotów).
- ➔ Zmniejszenie wielkości oczek sieci instalacji uziemiającej – wysterylowanie potencjału.
- ➔ Rezystancja przejścia warstwy gruntu w obrębie 3 m wokół przewodów odprowadzających jest nie mniejsza niż 100 k Ω (patrz norma IEC 62305-3 (EN 62305-3), rozdział 8.2).

Jeżeli w zagrożonym obszarze w pobliżu obiektu budowlanego podlegającego ochronie gromadzi się często duża liczba osób, należy zaplanować wysterylowanie potencjału w celu ochrony tych osób.

Sterowanie potencjałem jest wystarczające, jeśli spadek rezystancji na powierzchni gruntu w obszarze podlegającym ochronie wynosi nie więcej niż 1 Ω /m.

W takiej sytuacji należy oprócz istniejącego uziomu fundamentowego zainstalować dodatkowy uziom otokowy w odległości 1 m

	Odległość od budynku	Głębokość
1. otok	1 m	0,5 m
2. otok	4 m	1,0 m
3. otok	7 m	1,5 m
4. otok	10 m	2,0 m

Tab. 5.7.1 Odległości otoków od budynku oraz głębokość układania uziomów do wysterylowania potencjału



Ochrona systemów elektrycznych i elektronicznych przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym (LEMP)

7.1 Strefowa koncepcja ochrony

Systemy elektryczne i elektroniczne, wrażliwe na krótkotrwałe, wysokoenergetyczne przepięcia powstające wskutek wyładowania atmosferycznego, szybko upowszechniają się praktycznie we wszystkich obszarach budownictwa mieszkaniowego i użytkowego. Pełnią one ważne role w takich dziedzinach jak: zarządzanie budynkiem, telekomunikacja, sterowanie i systemy bezpieczeństwa. Wymogi stawiane przez właścicieli i zarządców budynków dotyczące ciągłej dostępności tego rodzaju systemów są bardzo wysokie.

Ochrona systemów elektrycznych i elektronicznych obiektów budowlanych przed przepięciami powodowanymi przez piorunowy impuls elektromagnetyczny (LEMP, *lightning electromagnetic pulse*) oparta jest na strefowej koncepcji ochrony odgromowej (LPZ, *lightning protection zone*). Zgodnie z tą zasadą obiekt budowlany, który ma być chroniony, należy podzielić na wewnętrzne strefy ochrony odgromowej o różnych wartościach zagrożenia piorunowym impulsem elektromagnetycznym (rys. 7.1.1). Dzięki temu można dopasować obszary zróżnicowane pod względem zagrożenia piorunowym impulsem elektromagnetycznym do wytrzymałości systemu elektronicznego.

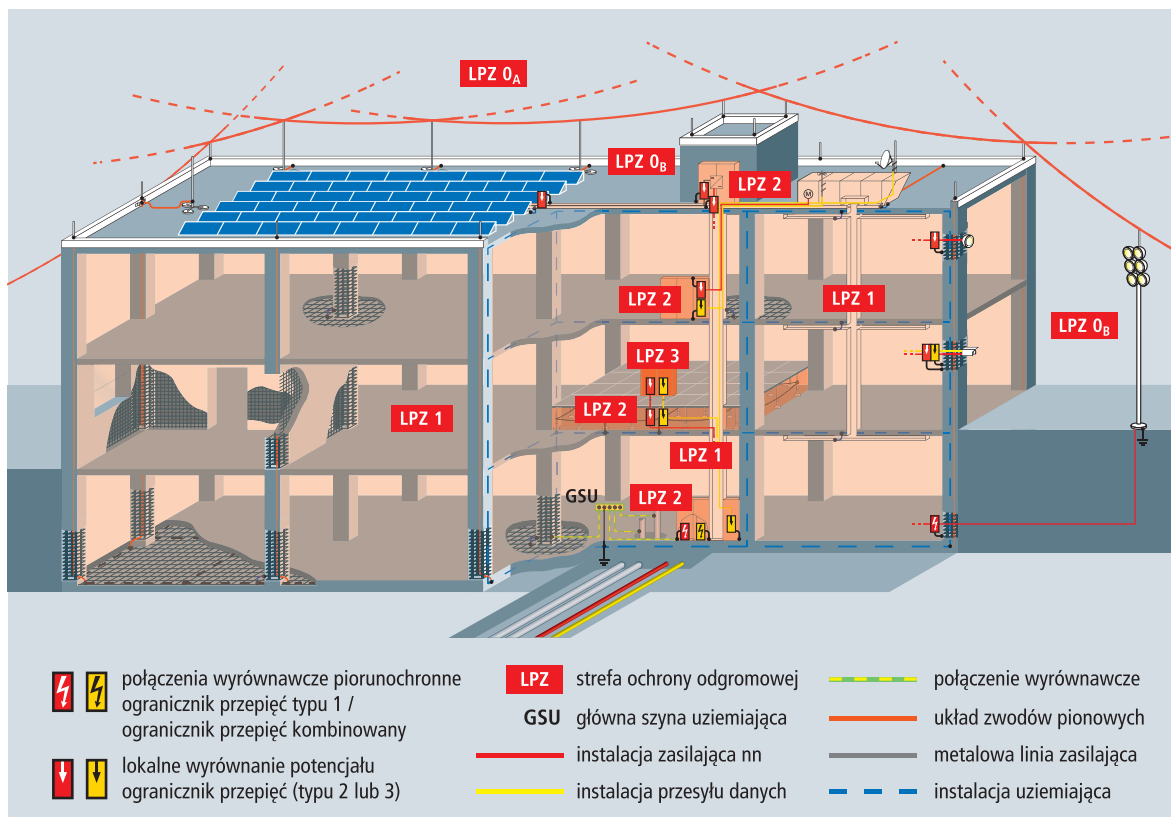
Według tej elastycznej koncepcji można zdefiniować odpowiednie strefy LPZ w zależności od ilości, rodzaju i wrażliwości urządzeń i systemów elektronicznych. Mogą to być małe, lokalne strefy, lub nawet duże strefy integralne, obejmujące całą kubaturę obiektu budowlanego. W zależności od rodzaju zagrożenia piorunowego definiuje się – zgodnie z zapisami normy IEC 62305-4 (EN 62305-4) – wewnętrzne i zewnętrzne strefy ochrony odgromowej.

Strefy zewnętrzne:

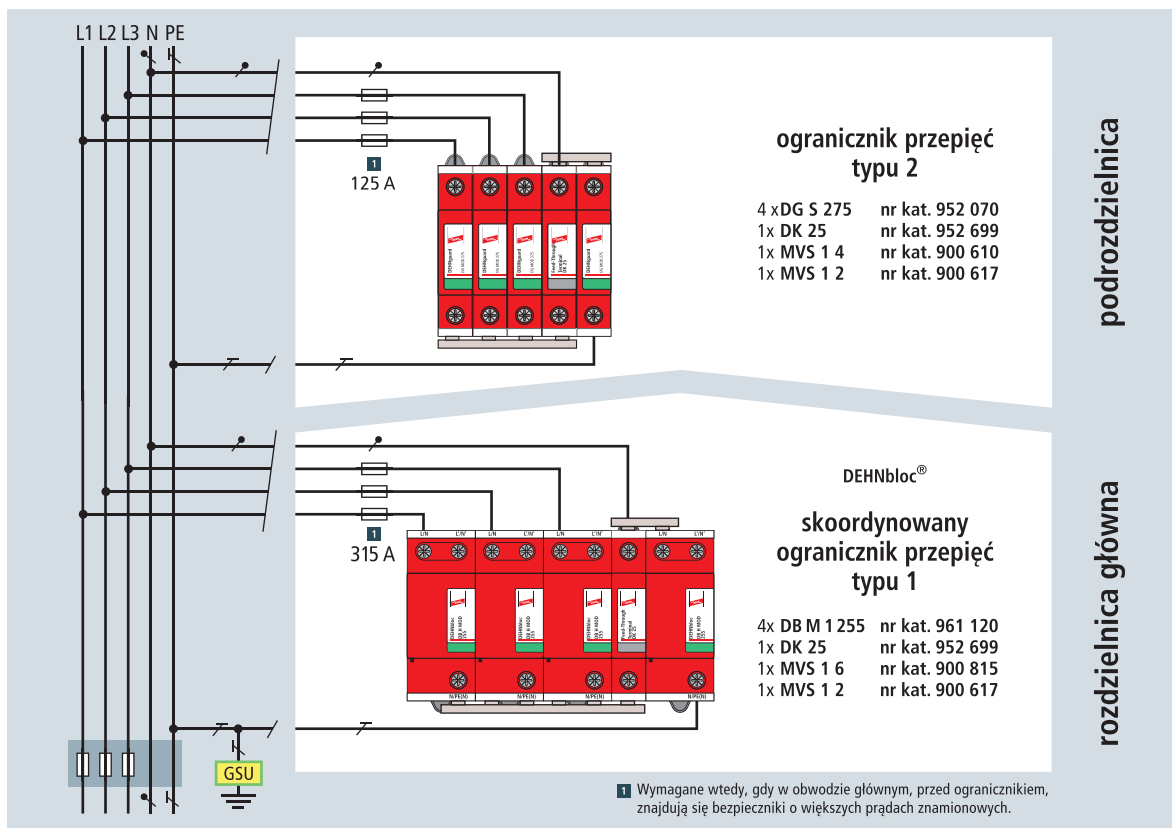
LPZ 0 Strefa, w której zagrożenie jest wywołane nietlumionym polem elektromagnetycznym pioruna i w której urządzenia wewnętrzne mogą być narażone na całkowity lub częściowy przepływ prądu piorunowego.

LPZ 0 dzieli się na:

LPZ 0_A Strefa, w której zagrożenie jest wywołane bezpośrednim wyładowaniem piorunowym i całkowitym jego polem elektromagnetycznym. Urządzenia wewnętrzne mogą być narażone na przepływ całkowitego prądu udarowego pioruna.



Rys. 7.1.1 Strefowa koncepcja ochrony zgodnie z normą IEC 62305-4 (EN 62305-4) – widok ogólny



podrozdzielnica

rozdzielnica główna

Rys. 8.1.5.4 Zastosowanie SPD w układzie IT 230/400 V – przykład z przewodem neutralnym (połączenie „3+1”)

8.1.6 Określanie długości przewodów przyłączeniowych dla SPD

Określenie długości przyłączy urządzeń do ograniczania przepięć jest istotną częścią przepisów instalacyjnych normy IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534).

Opisane poniżej aspekty są także często powodem składania reklamacji podczas procedury dopuszczającej instalację do użytku wykonywanej przez rzeczoznawców, pracowników nadzoru technicznego itd.

Połączenie w „układzie V” (szeregowe) zgodnie z normą IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534)

Kluczowym czynnikiem w aspekcie ochrony instalacji, urządzeń i odbiorców jest ten poziom napięcia udarowego, której jest rzeczywiście przyłożone do urządzeń, podlegających ochronie. Optymalną ochronę uzyskuje się wtedy, gdy poziom napięcia udarowego na chronionym urządzeniu jest zgodny z napięciowym poziomem ochrony ogranicznika przepięć.

Z tego powodu norma IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534) proponuje połączenie urządzeń do ograniczania przepięć w kształ-

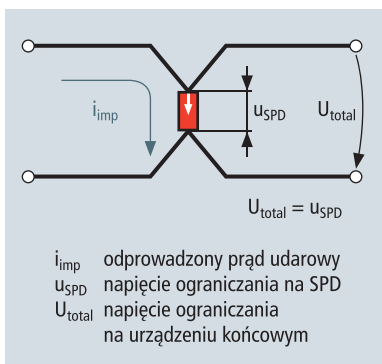
cie V (rys. 8.1.6.1). W takim przypadku nie stosuje się żadnych oddzielnych rozgałęzień przewodów do połączenia urządzeń do ograniczania przepięć.

Połączenie równoległe zgodnie z normą IEC 60364-5-53 (HD 60364-5-534)

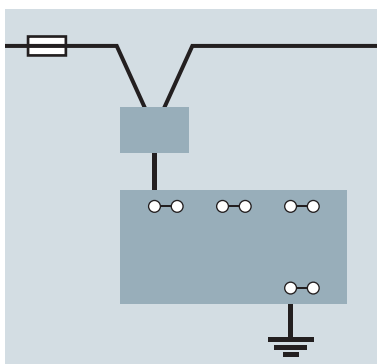
Optymalna technika połączeń w „układzie V” nie może być stosowana we wszystkich warunkach.

Maksymalne prądy znamionowe przepływające przez zaciski podwójne ogranicznika przepięć połączonego w „układzie V” są określone przez obciążalność prądową tych zacisków. Stąd też producenci urządzeń do ograniczania przepięć zastrzegają określoną maksymalną wartość zabezpieczenia nadprądowego, co z kolei w instalacjach z większymi roboczymi prądami znamionowymi prowadzi do tego, że niekiedy nie można w nich zastosować połączenia w „układzie V”.

Można w takich sytuacjach wykorzystać tak zwane zaciski przyłączeniowe dwuprzewodowe (zaciski przelotowe), które są wówczas lepszym rozwiązaniem. Tak więc w przypadku większych prądów znamionowych można utrzymać niewielkie długości przewodów



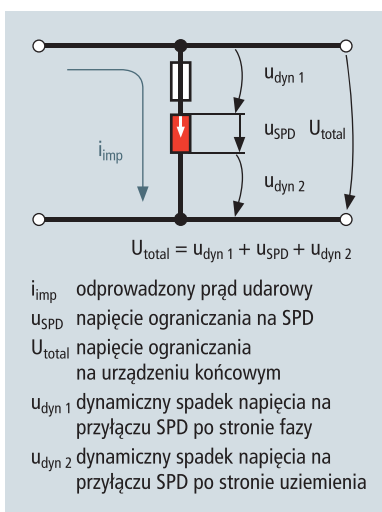
Rys. 8.1.6.1 Przyłączanie ograniczników przepięć w „układzie V”



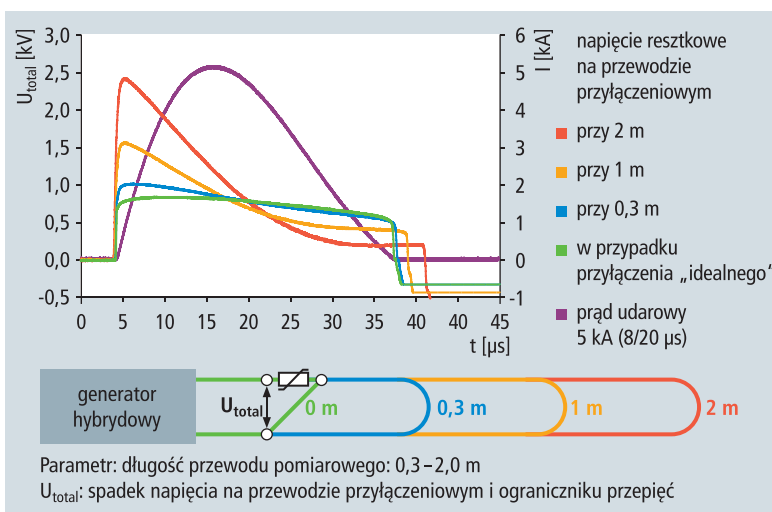
Rys. 8.1.6.2 Zasada zacisku dwuprzewodowego – jednostka jednobiegowa



Rys. 8.1.6.3 Zaciski przelotowe STAK 2X16 i STAK 25



Rys. 8.1.6.4a Przyłączanie ograniczników przepięć w oddzieleniu przewodu



Rys. 8.1.6.4b Napięcie ograniczania ogranicznika DEHNguard 275 w przypadku różnych długości przewodów przyłączeniowych

przyłączeniowych. Podczas stosowania tego rodzaju zacisków dwuprzewodowych należy jednakże zachować wskazane przez producenta dla danego przypadku montażowego wartości zabezpieczenia nadprądowego (**rys. 8.1.6.2 i 8.1.6.3**).

Jeżeli definitywnie nie można zastosować „połączenia V”, konieczne jest zamontowanie urządzeń do ograniczania przepięć w oddzielnej gałęzi. Jeżeli wartość znamionowa najbliższego zamontowanego kolejnego zabezpieczenia nadprądowego przekracza wartość maksymalnego dopuszczalnego zabezpieczenia nadprądowego urządzenia do ograniczania przepięć, to oddzielenie musi być zaopatrzone w zabezpieczenie nadprądowe urządzenia do ograniczania przepięć (**rys. 8.1.6.4a i b**) lub też należy użyć SPD z wbudowanym zabezpieczeniem nadprądowym (**rys. 8.1.6.5 i 8.1.6.6**).

W momencie zadziałania urządzenia do ograniczania przepięć w gałęzi ogranicznika odprowadzany prąd udarowy przepływnie przez dodatkowe elementy (przewody, zabezpieczenie). Wywoła on na ich impedancjach kolejne dynamiczne spadki napięcia.

Można ponadto stwierdzić, że składowa rezystancyjna jest mniej istotna w stosunku do składnika indukcyjnego.

Uwzględniając równanie:

$$u_{dyn} = i \cdot R + \left(\frac{di}{dt} \right) L \approx \left(\frac{di}{dt} \right) L$$



Doposażenie oczyszczalni ścieków w środki ochrony odgromowej i przepięciowej

Zmniejszające się rezerwy wody pitnej zmuszają nas do bardziej racjonalnego jej wykorzystania. Z tego względu oczyszczalnie ścieków zajmują coraz ważniejsze miejsce w obiegu wody pitnej. Konieczna wysoka wydajność oczyszczalni (**rys. 9.4.1**) wymusza optymalizację procesów operacyjnych przy jednoczesnym obniżeniu kosztów. Mając to na uwadze, w minionych latach zainwestowano znaczne sumy w elektroniczne urządzenia pomiarowe i wyspowe elektroniczne systemy sterujące i automatykę. W stosunku do techniki konwencjonalnej, nowe systemy elektroniczne wykazują znacznie mniejszą wytrzymałość na przepięcia przejściowe. Uwarunkowania strukturalne rozległych zewnętrznych instalacji oczyszczania ścieków z urządzeniami pomiarowymi i sterującymi rozproszonymi na dużym obszarze dodatkowo zwiększają ryzyko zakłóceń spowodowanych przez wyładowania atmosferyczne i przepięcia. W związku z tym można z dużym prawdopodobieństwem spodziewać się awarii całego systemu sterującego procesami lub jego części, o ile nie zostaną zastosowane żadne środki ochrony. Skutki tego rodzaju awarii mogą być bardzo poważne: od kosztów przywrócenia sprawności instalacji aż po trudne do ustalenia koszty usuwania zanieczyszczeń wód gruntowych. Aby przeciwdziałać takim zagrożeniom i podnieść dyspozycyjność systemów, należy zastosować środki zewnętrznej i wewnętrznej ochrony odgromowej.

Szacowanie ryzyka wystąpienia szkody w sterowni oczyszczalni ścieków

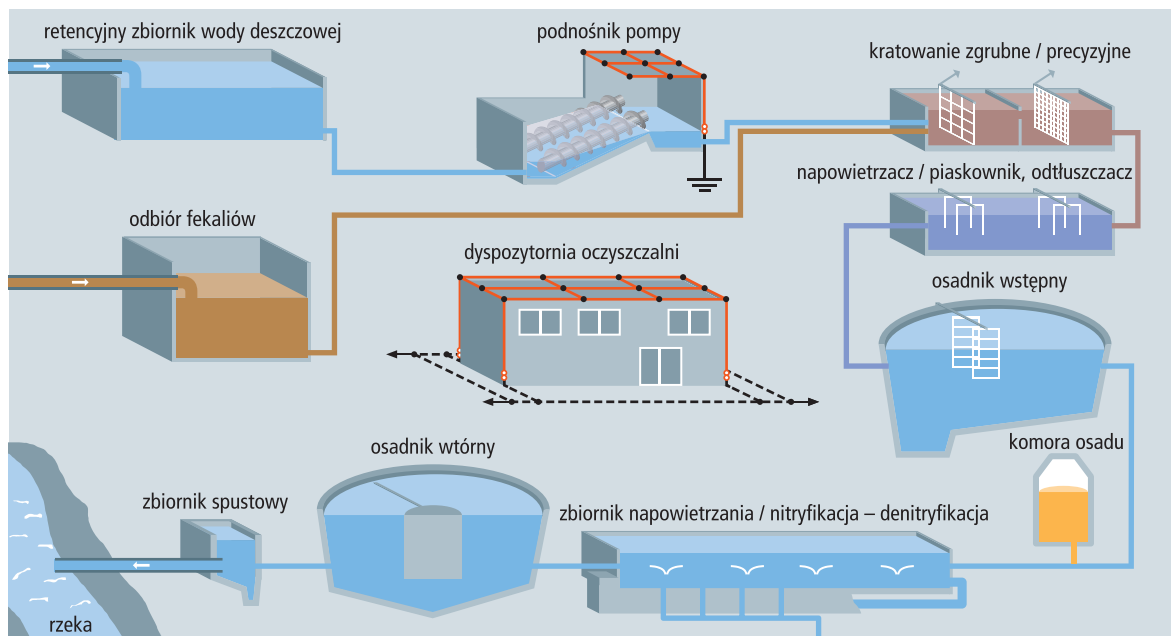
Przytoczony poniżej przykład został wyliczony z wykorzystaniem normy IEC 62305-2 (EN 62305-2). Niniejszym chcielibyśmy wy-

raźnie podkreślić, że przedstawiony sposób działania jest jedynie przykładowy. Pokazane rozwiązanie nie jest w żadnej mierze wiążące i może być zastąpione przez inne, równoważne rozwiązanie. Poniżej przedstawiono zarys charakterystyki przytoczonego przykładu.

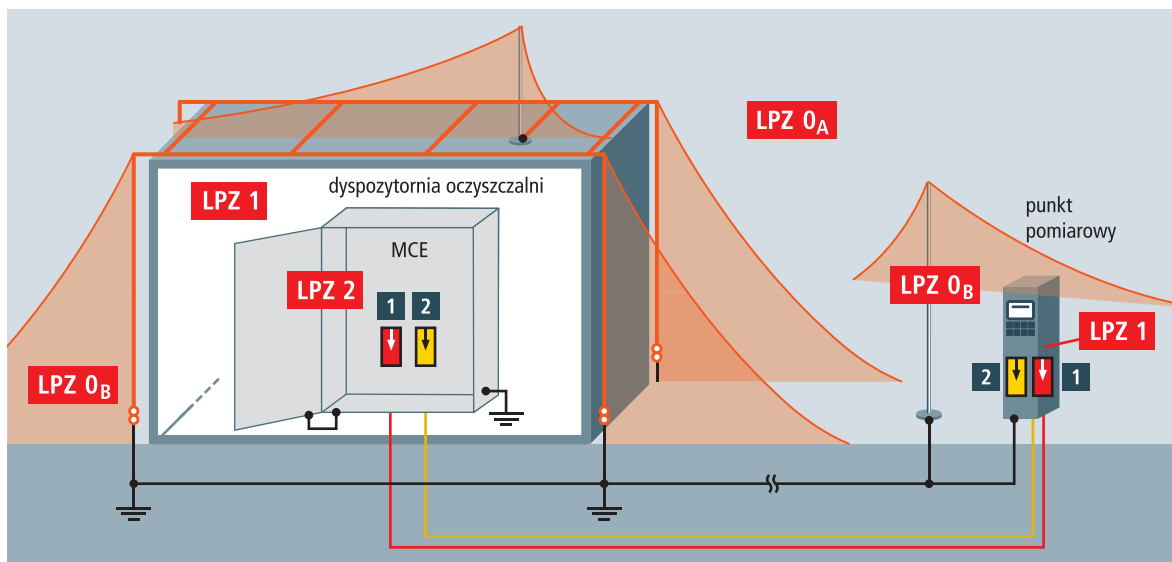
Na początku należy przeprowadzić z użytkownikiem instalacji pisemną ankietę zawierającą istotne pytania na temat obiektu budowlanego i jego użytkowania. Taki sposób działania gwarantuje, że utworzona zostanie koncepcja ochrony odgromowej zrozumiała dla wszystkich zainteresowanych stron. Koncepcja taka będzie stawiać wymagania minimalne, które jednakże mogą być w dowolnym momencie udoskonalone technicznie.

Opis instalacji

Cała technika sterująca oczyszczalni ścieków zlokalizowana jest centralnie w sterowni oczyszczalni. Taki układ charakteryzuje się rozległymi połączeniami kablowymi do stacji pomiarowych i podstacji. W momencie uderzenia pioruna poprzez te przewody do sterowni może wnikać część prądu pioruna. W przeszłości prowadziło to zawsze do zniszczenia instalacji i poważnych awarii. To samo dotyczy także przewodów zasilających i telekomunikacyjnych. Sterownia oczyszczalni ścieków powinna być chroniona przed szkodami wywołanymi pożarem (po bezpośrednim uderzeniu pioruna), zaś systemy elektroniczne i elektroniczne (system sterowniczy i automatyka, technika zdalnego sterowania) powinny posiadać ochronę przed negatywnym oddziaływaniem piorunowego impulsu elektromagnetycznego (LEMP).



Rys. 9.4.1 Schemat budowy oczyszczalni ścieków



Lp.	Chroniony obszar		Typ	Nr kat.
1	zasilanie	układ TN	DEHNguard DG M TN 275 lub DEHNguard DG M TN 275 FM	952 200 952 205
		układ TT	DEHNguard DG M TT 2P 275 lub DEHNguard DG M TT 2P 275 FM	952 110 952 115
2	pomiar poziomu tlenu	np. 4 – 20 mA	BLITZDUCTOR BXT ML4 BE S 24 + podstawa BXT BAS lub BLITZDUCTOR BXT ML2 BE 24 + podstawa BXT BAS	920 224 + 920 300 920 324 + 920 300

Rys. 9.4.2 Podział oczyszczalni ścieków na strefy ochrony odgromowej; przykład doboru urządzeń ochronnych do pomiaru poziomu tlenu

Dodatkowe uwarunkowania:

- ➔ zostały już zastosowane środki ochrony przed oddziaływaniem pioruna (zewnętrzne urządzenie piorunochronne zgodnie z normą IEC 62305-1 (EN 62305-1), urządzenia ochrony przepięciowej (SPD) typu 1 w miejscu wejścia przewodu zasilającego 230/400 V do budynku oraz SPD typu 2 w szafach sterowniczych technik pomiarowo-kontrolnych);
- ➔ istotne są następujące typy strat: L2 – utrata usług publicznych (zaopatrzenie w wodę i odbiór ścieków) i L4 – straty materialne (obiekty budowlane i ich zawartość); typ straty L1 – utrata życia ludzkiego – został wykluczony, ponieważ docelowo praca instalacji ma przebiegać w pełni automatycznie.
- ➔ wynik obliczeń stanu rzeczywistego jest taki, że obliczone ryzyko wystąpienia szkody R jest znacznie większe niż akceptowalne ryzyko RT zarówno dla typu straty L2, jak również L4.

Aby dla obu rodzajów ryzyka osiągnąć poziom $R < RT$, trzeba wdrożyć możliwe środki ochrony:

- ➔ wykonanie zewnętrznego urządzenia piorunochronnego klasy III zgodnie z normą IEC 62305-3 (EN 62305-3) (odpowiada to także zaleceniom z niemieckich wytycznych VdS 2010);
- ➔ instalacja ograniczników przepięć typu 1 zgodnie z normą IEC 61643-11 (EN 61643-11) (zasilanie) i ograniczników kategorii D1 według normy IEC 61643-21 (EN 61643-21) do ochrony linii transmisji danych (przewody urządzeń pomiarowo-kontrolnych i linie telekomunikacyjne) na przejściach stref LPZ $0_A - 1$;
- ➔ instalacja ograniczników przepięć typu 2 zgodnie z normą IEC 61643-11 (EN 61643-11) (zasilanie) i urządzenia ochrony przepięciowej kategorii C2 zgodnie z normą IEC 61643-21 (EN 61643-21) do ochrony linii transmisji danych (przewody urządzeń pomiarowo-kontrolnych i linie telekomunikacyjne) na przejściach stref LPZ $0_B - 1$ i $1 - 2$.

Strefowa koncepcja ochrony odgromowej

Aby uzyskać najlepszą ochronę z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia, należy podzielić sterownię oczyszczalni ścieków



Ochrona przepięciowa sieci **ETHERNET** i **Fast Ethernet**

Obecnie najbardziej rozpowszechnioną techniką sieci lokalnych jest Ethernet. Nazwa „ether” (eter) nawiązuje do pierwszych sieci radiowych. Wszystko zaczęło się w latach 80. XX wieku od sieci Ethernet 10 Mb/s poprowadzonej kablem koncentrycznym, później zaś był Fast Ethernet o szybkości 100 Mb/s i Ethernet Gigabit, osiągający prędkości 1000 Mb/s i 10 Gb/s. Wszystkie warianty sieci Ethernet bazują na takich samych zasadach. Od lat 90. XX wieku technika Ethernet przekształciła się w częściej używaną technikę LAN (*Local Area Network*) i wyparła inne standardy LAN, jak np. Token Ring czy ARCNET. Ethernet składa się fizycznie z różnych typów kabli koncentrycznych 50 Ω lub skręconych parami przewodów (*twisted pair*), włókien szklanych lub innych mediów. Przepustowość wynosi zwykle 100 Mb/s, lecz coraz częściej mamy do czynienia z przepustowością 1000 Mb/s. Przepięcia powodują zakłócenia, a także prowadzą do zniszczeń, a co za tym idzie – do awarii systemów komputerowych. To w znaczący sposób zaburza ciągłość ich funkcjonowania, co prowadzi do dłuższych przestoju instalacji i systemów. Z tego względu w celu zagwarantowania niezawodności systemów komputerowych oprócz zapewnienia zasilania i regularnego zapisywania danych konieczna jest także koncepcja ochrony przepięciowej.

Przyczyny powstawania szkód

Awarie systemów komputerowych powodowane są zazwyczaj przez:

- ➔ odległe uderzenia pioruna, które wytwarzają przepięcia przejściowe w przewodach linii zasilających, transmisji danych lub telekomunikacyjnych,
- ➔ pobliskie uderzenia pioruna, które powodują powstawanie pól elektromagnetycznych, wskutek czego dochodzi w wyniku sprzężeń do przepięć indukowanych w liniach zasilających, transmisji danych lub telekomunikacyjnych,
- ➔ bezpośrednie uderzenia pioruna, wywołujące w instalacjach budynku powstawanie niedopuszczalnych różnic potencjału i przepływu części prądu pioruna.

Okablowanie strukturalne jako jednolity system przyłączeń

Okablowanie strukturalne jest jednolitym sposobem przyłączania różnych usług, takich jak telefonia analogowa, ISDN czy różnego rodzaju techniki sieciowe. Dzięki takiemu okablowaniu można dopasowywać już funkcjonujące instalacje do nowych zadań bez potrzeby zmian w okablowaniu lub technice połączeniowej. System okablowania strukturalnego daje możliwość zastosowania uniwersalnych połączeń kablowych, dostosowanych do potrzeb, a nie przygotowanych specjalnie pod kątem topologii danej sieci, producenta czy konkretny produkt. Rodzaj kabli i topologia daje możliwość zastosowania wszystkich obecnych i przyszłych protokołów.

System uniwersalnego okablowania składa się z trzech poziomów hierarchicznych:

1. **okablowanie pierwotne** łączy rozdzielnicę główną kompleksu budowlanego z rozdzielnicami w poszczególnych budynkach; do budowy sieci transmisji danych używa się na tym poziomie hierarchii głównie kabli światłowodowych 50/125 μm wielomodowych (dla odległości > 2 km światłowody jednomodowe); maksymalna długość segmentów wynosi ok. 1500 m;
2. **okablowanie wtórne** służy do połączenia rozdzielnic budynku z rozdzielnicami piętrowymi; także tutaj używa się najczęściej kabli światłowodowych 50 μm i symetrycznych kabli 100 Ω; długość segmentów wynosi ok. 500 m;
3. **okablowanie poziome** piętra obejmuje połączenie wszystkich stanowisk pracy na danym piętrze; okablowanie poziome piętra wychodzące z jednej rozdzielnic piętrowej nie powinno przekraczać swą długością 90 m; połączenie między rozdzielnicą piętrową a informatycznymi puszkami przyłączeniowymi realizowane jest z reguły za pomocą kabla miedzianego lub częściowo za pomocą kabli światłowodowych 62,5 μm.

Interfejsy między wymienionymi poziomami tworzą pasywne punkty rozdzielcze. Tego rodzaju punkty rozdzielcze są miejscami łączącymi okablowanie pierwotne, wtórne i poziome piętra w uniwersalnych systemach okablowania. Umożliwiają one bezproblemowe włączanie usług komunikacyjnych na danym stanowisku pracy poprzez możliwość łatwego przepinania kabli krosowych. W przypadku punktów rozdzielczych do kabli światłowodowych (poziom pierwotny i wtórny) i skrętek (kable „twisted pair”, okablowanie poziome piętra) wynika różnica w ilości przyłączy (portów). Przykładowo, do okablowania strukturalnego stosuje się gniazda rozdzielcze 24-portowe, zaś do instalacji telekomunikacyjnych używa się 25 portów. Standardowy wymiar instalacyjny do zabudowy szafek danych oraz szafek rack wynosi 19”.

Podstawową topologią systemów okablowania strukturalnego jest topologia gwiazdy. Wszystkie dostępne obecnie na rynku protokoły mogą współpracować z siecią o topologii gwiazdowej, niezależnie od tego, czy tworzą one system pierścienia logicznego czy magistralnego.

Systemy okablowania strukturalnego łączą wszystkie urządzenia końcowe. Umożliwiają one komunikację między telefonem, siecią, systemami bezpieczeństwa, automatyką budynku, sieciami LAN i WLAN, dostępem do Internetu i intranetu. Systemy okablowania strukturalnego umożliwiają użytkownikowi elastyczność w wykorzystywaniu urządzeń końcowych. Wychodzi się z założenia, że sieć Ethernet przejmie w najbliższych latach przesył wszystkich informacji takich jak: dane, komunikacja głosowa, telewizja, systemy AKPiA, stając się w ten sposób uniwer-

salnym środkiem transmisji. Z tego względu obowiązkowe staje się konsekwentne rozpatrywanie kwestii kompatybilności elektromagnetycznej (EMC).

Kompatybilność elektromagnetyczna

Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) definiowana jest jako zdolność danego urządzenia – szczególnie zaś instalacji lub systemu – do poprawnej pracy w danym otoczeniu elektromagnetycznym, również bez powodowania zakłóceń elektromagnetycznych, które nie byłyby tolerowane przez funkcjonujące w tym otoczeniu urządzenia, instalacje i systemy.

Z punktu widzenia trwałej pracy bez zakłóceń jest więc nieodzowne, aby w odpowiednim momencie podnieść kwestię kompatybilności elektromagnetycznej. Dotyczy to nie tylko okablowania sieci, służącego do pracy z danymi, lecz także całej elektrotechnicznej infrastruktury budynku i kompleksu budowlanego, w którym zainstalowana ma być sieć. Stąd bardzo istotne jest rozpatrzenie elektromagnetycznych warunków otoczenia.

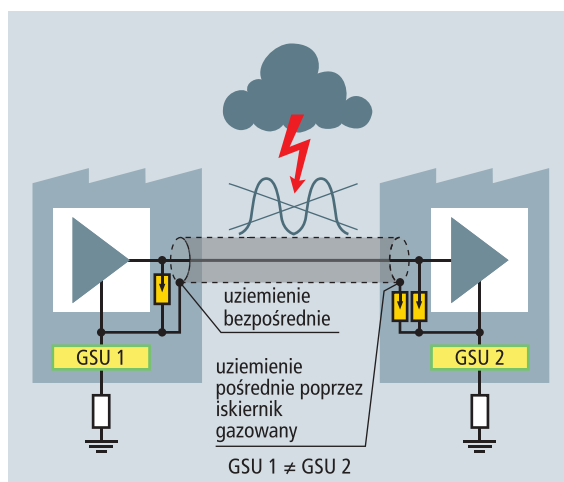
- ➔ Czy istnieją potencjalne źródła zakłóceń elektromagnetycznych, jak np. łącza radiowe, nadajniki telefonii komórkowej, linie produkcyjne lub windy?
- ➔ Jaka jest jakość energii elektrycznej (np. zawartość wyższych harmonicznych, migotanie, zaniki napięcia, skoki napięcia, przebiegi przejściowe)?
- ➔ Jak jest zagrożenie uderzeniem pioruna (np. częstość wyładowań)?
- ➔ Czy istnieje zagrożenie emisją zakłóceń?

Aby zagwarantować ciągłość pracy sieci komputerowych, także w obliczu mogących wystąpić w przyszłości zwiększonych wymogów w stosunku do nich, należy zwrócić szczególną uwagę na kompatybilność elektromagnetyczną instalacji. Z tego względu każdy projekt sieci komputerowej powinien zawierać koncepcję uziemienia i wyrównania potencjałów obejmującą:

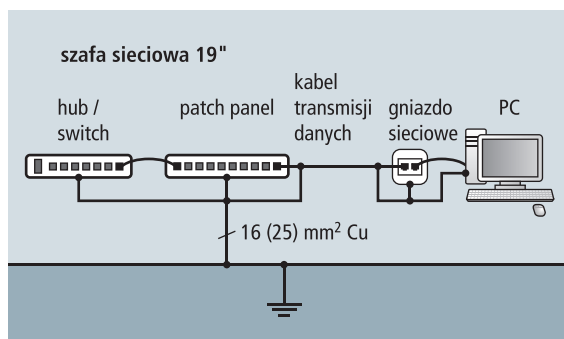
- ➔ prowadzenie tras i przewodów,
- ➔ strukturę okablowania,
- ➔ komponenty aktywne,
- ➔ ochronę odgromową,
- ➔ ekranowanie przewodów sygnałowych,
- ➔ połączenia wyrównawcze,
- ➔ ochronę przepięciową.

Najważniejsze środki do uzyskania kompatybilności elektromagnetycznej, a co za tym idzie – do zapewnienia transmisji danych bez zakłóceń – są następujące:

- ➔ izolacja przestrzenna znanych emiterów zakłóceń elektromagnetycznych (np. stacji transformatorowych, napędów wind) od komponentów informatycznych;
- ➔ stosowanie zamkniętych kanałów metalowych w obszarze emisji zakłóceń powodowanych przez silne nadajniki radiowe lub ewentualnie przyłączenie urządzeń końcowych wyłączanie za pomocą przewodów światłowodowych;
- ➔ stosowanie oddzielnych obwodów zasilających dla urządzeń końcowych, ewentualnie zastosowanie filtrów przeciwzakłóceń i instalacji zasilania gwarantowanego;
- ➔ nieprowadzenie linii zasilających i transmisji danych równoległe z liniami zasilającymi odbiorniki o dużych mocach (z powodu zagrożenia przepięciami łączeniowymi podczas włączania i wyłączania odbiorników dużej mocy) oraz z li-



Rys. 9.11.1 Obustronne przyłączenie ekranu – ekranowanie w celu ochrony przed sprzężeniami pojemnościowymi i indukcyjnymi oraz uniknięcia prądów wyrównawczych za pomocą bezpośredniego i pośredniego uziemienia ekranu



Rys. 9.11.2 Połączenie wyrównawcze sieci kabli ekranowanych



Ochrona odgromowa i przepięciowa instalacji fotowoltaicznych na dachach budynków

W Niemczech zainstalowano do tej pory ponad milion instalacji fotowoltaicznych. Ponieważ wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych jest ogólnie tańsze oraz zapewnia wysoki stopień niezależności w kwestii zasilania z sieci energetycznej, dlatego w niedalekiej przyszłości instalacje fotowoltaiczne (PV) staną się nieodzownym składnikiem instalacji elektrycznych. Należy jednak pamiętać o tym, że instalacje fotowoltaiczne są narażone na wpływ czynników atmosferycznych i muszą się im przeciwstawiać przez dziesięciolecia.

Zazwyczaj okablowanie instalacji fotowoltaicznej jest wprowadzone do budynku. Z tego powodu często mamy do czynienia z długimi odcinkami przewodów biegnącymi do punktu przyłączenia do sieci.

Wyładowania atmosferyczne powodują przepięcia indukowane i zakłócenia związane z oddziaływaniem pola elektromagnetycznego. Wraz z rosnącą długością przewodów lub wielkością pętli efekt ten ulega wzmocnieniu. Szkody wywołane przez przepięcia występują nie tylko w przyłączonych modułach fotowoltaicznych, falownikach i ich elektronice kontrolnej, lecz narażone na nie są także urządzenia pozostałych instalacji domowych. W budynkach przemysłowych dochodzi także do szkód w instalacjach produkcyjnych, które mogą skutkować przerwami w procesie produkcyjnym.

Jeżeli przepięcia przenoszone są do instalacji niepołączonych z siecią (tzw. wyspowych systemów fotowoltaicznych), mogą one zakłócać pracę instalacji z nich zasilanych (np. urządzeń medycznych, systemu zaopatrzenia w wodę).

Konieczność istnienia urządzenia piorunochronnego na budynku

W przypadku bezpośredniego uderzenia pioruna w budynek na pierwszym miejscu stoi ochrona osób i ochrona przeciwpożarowa. Uwolniona energia wyładowania piorunowego jest jedną z najczęstszych przyczyn powstawania pożarów.

Już na etapie projektowania instalacji fotowoltaicznej jest z reguły wiadomo, czy budynek posiada urządzenie piorunochronne. W kilku krajach związkowych (Niemcy) w przypadku budynków użyteczności publicznej (np. miejsca publicznych zgromadzeń, szkoły czy szpitale) przepisy budowlane wymagają instalowania urządzeń piorunochronnych. W odniesieniu do budynków, w których prowadzona jest działalność gospodarcza, bądź obiektów prywatnych, konieczność posiadania ochrony odgromowej zależy od ich położenia, konstrukcji budynku i sposobu użytkowania. Należy ustalić, czy są one narażone na uderzenia pioruna i do jak poważnych skutków może doprowadzić takie uderzenie. Instalacje wymagające ochrony należy zaopatrzyć na stałe w skuteczne urządzenie piorunochronne.

Zgodnie aktualnym stanem wiedzy technicznej instalacja paneli fotowoltaicznych nie zwiększa ryzyka uderzenia pioruna. Dlatego wymaganie stosowania środków ochrony odgromowej nie może być wynikiem instalacji paneli fotowoltaicznych. Jednak poprzez te instalacje do budynku mogą przedostać się poważne za-

klócenia pochodzące od wyładowania atmosferycznego. Z tego powodu należy ustalić ryzyko wystąpienia szkody spowodowanej uderzeniem pioruna, zgodnie z normą IEC 62305-2 (EN 62305-2). Wyniki analizy należy wykorzystać podczas budowy instalacji fotowoltaicznej. DEHN oferuje oprogramowanie DEHNSupport Toolbox do oceny ryzyka wystąpienia szkody. Analiza ryzyka wykonana za pomocą tego oprogramowania dostarcza wynik, który jest zrozumiały dla wszystkich zainteresowanych stron. Ponadto oprogramowanie porównuje ryzyko z kosztami rozwiązań technicznych i dostarcza ekonomicznie zoptymalizowane środki ochrony. Dodatek 5 do niemieckiej normy DIN EN 62305-3 w punkcie 4.5 (Zarządzanie ryzykiem) zawiera zapis, że urządzenie piorunochronne wykonane w III klasie LPS (LPL III, *lightning protection level*) odpowiada normalnym wymaganiom dla instalacji fotowoltaicznych. Ponadto Stowarzyszenie Niemieckich Firm Ubezpieczeniowych (*Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft*, GDV) w swojej wytycznej VdS 2010 „Ochrona odgromowa i przepięciowa ukierunkowana na ryzyko” wprowadza odpowiednie środki ochrony odgromowej. Także według tych wytycznych ustala się poziom ochrony LPL III dla dachowych instalacji fotowoltaicznych (>10 kWp), a co za tym idzie należy wykonać urządzenie piorunochronne zgodnie z III klasą ochrony. Dodatkowo wymagane są środki ochrony przepięciowej.

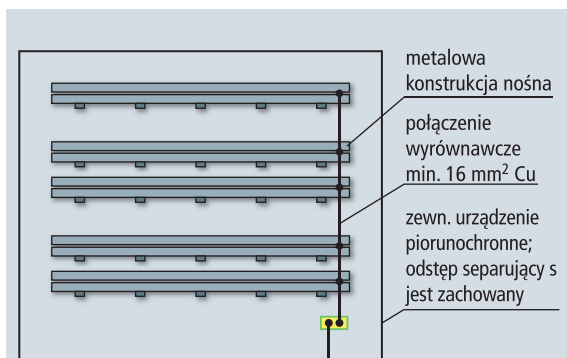
Zasadniczą regułą jest, że instalowane na budynkach systemy fotowoltaiczne nie powinny pogarszać działania istniejących środków ochrony odgromowej.

Konieczność ochrony przepięciowej w instalacji PV

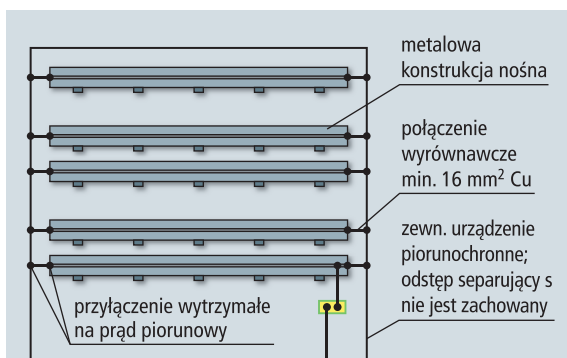
Podczas wyładowań atmosferycznych w przewodach mogą pojawić się przepięcia indukowane. Do ochrony systemów elektrycznych przed tymi niszczącymi udarami napięcia doskonale nadają się ograniczniki przepięć (SPD, *surge protective device*). Ograniczniki należy instalować przed urządzeniami, które mają być chronione, po stronie zasilania prądem stałym i przemiennym lub w obwodach przesyłu danych. Norma CENELEC CLC/TS 50539-12 (Dobór i zasady zastosowania – Urządzenia ochrony przepięciowej do stosowania w instalacjach fotowoltaicznych) w punkcie 9.1 nakazuje stosowanie urządzeń ochrony przepięciowej, o ile wyniki analizy ryzyka nie wskazują inaczej. Zgodnie z normą IEC 60364-4-44 (HD 60364-4-44) należy instalować ochronę przepięciową także w budynkach nieposiadających zewnętrznego urządzenia piorunochronnego, np. w budynkach, w których prowadzona jest działalność gospodarcza, oraz w budynkach przemysłowych, do których zaliczane są między innymi obiekty rolnicze. W niemieckim Dodatku 5 do normy DIN EN 62305-3 opisano szczegółowo rodzaj oraz miejsce montażu SPD.

Prowadzenie przewodów instalacji fotowoltaicznych

Podczas układania przewodów należy zwrócić uwagę na to, aby nie powstawały duże pętle przewodów. Dotyczy to połączeń obwodów prądu stałego w ramach pojedynczego łańcucha, jak również połączeń kilku łańcuchów między sobą. Ponadto należy



Rys. 9.18.1 Uziemienie funkcjonalne ramy modułów przy braku zewnętrznego urządzenia piorunochronnego lub z zachowanym odstępem separującym s (norma DIN EN 62305-3, Dodatek 5)



Rys. 9.18.2 Połączenie wyrównawcze piorunochronne konstrukcji modułów w przypadku, gdy odstęp separujący s nie jest zachowany



Rys. 9.18.3 Zacisk uziemiający UNI: element pośredni ze stali nierdzewnej pozwala uniknąć korozji, dzięki czemu tworzy się niezawodne wieloletnie połączenie między różnymi materiałami przewodzącymi

uniknąć sytuacji, gdy przewody przesyłu danych lub przewody czujników prowadzone są poprzecznie przez kilka łańcuchów i tworzą z przewodami łańcuchów pętle o dużej powierzchni. To samo dotyczy połączenia falownika z siecią energetyczną. Istotne jest, aby linie zasilające (prąd stały i przemienny) były na całej długości układane wspólnie z przewodem wyrównawczym. Zasada ta obejmuje także linie transmisji danych (np. czujnik nasłonecznienia, monitoring pracy instalacji).

Uziemienie instalacji fotowoltaicznej

Panele fotowoltaiczne instalowane są przeważnie na metalowych systemach nośnych. Aktywne komponenty instalacji po stronie prądu stałego posiadają podwójną lub wzmocnioną izolację (porównywalną z wcześniejszą izolacją ochronną) zgodnie z normą IEC 60364-4-41. Kombinacja licznych technik po stronie modułów instalacji PV oraz falownika (np. z separacją galwaniczną lub bez) pociągają za sobą różnorodność wymagań dotyczących uziemienia. Ponadto monitoring izolacji zintegrowany z falownikiem jest tylko wtedy trwale skuteczny, kiedy system nośny jest połączony z instalacją uziemiającą. Dodatek 5 do niemieckiej normy DIN EN 62305-3 dostarcza praktyczne wskazówki w tym zakresie. I tak na przykład wykonuje się uziemienie funkcjonalne metalowej konstrukcji wsporczej, jeżeli instalacja leży w przestrzeni chronionej zwodu i zachowany jest odstęp separujący. W punkcie 7 podano że przekrój przewodów wymagany do uziemienia funkcjonalnego wynosi minimum 6 mm² Cu lub równoważny (**rys. 9.18.1**). Przewodami o podanym przekroju w sposób trwały należy połączyć ze sobą także metalowe szyny ram modułów. Jeżeli system nośny jest połączony bezpośrednio z zewnętrznym urządzeniem piorunochronnym, ponieważ nie można zachować odstępu separującego s, to przewody te stają się częścią połączeń wyrównawczych piorunochronnych. W konsekwencji połączenia te muszą być zdolne przewodzić część prądu piorunowego. W przypadku urządzenia piorunochronnego w III klasie ochrony wymagany jest minimalny przekrój 16 mm² Cu lub równoważny. Także w takim przypadku szyny stanowiące ramy modułów powinny być połączone ze sobą trwale za pomocą przewodów o tym samym przekroju. Przewód wyrównawczy funkcjonalny / piorunochronny powinien być ułożony równolegle i możliwie jak najbliżej kabli / przewodów prądu stałego i przemiennego (**rys. 9.18.2**). Zacisk uziemiający UNI (**rys. 9.18.3**) może być zamocowany na powszechnie stosowanym systemie montażowym. Łączy on przewody np. 6 mm² lub 16 mm² Cu, jak również gołe druty okrągłe (Ø 8–10 mm) z ramą montażową w sposób wytrzymały na przepływ prądu piorunowego. Ochronę antykorozyjną systemów montażowych (Al) zapewnia zintegrowany zacisk uziemiający ze stali nierdzewnej (V4A).



Ochrona przepięciowa instalacji oddymiania i wentylacji

Aby ludzie mogli bezpiecznie opuścić budynek w przypadku pożaru, konieczne jest utrzymanie dróg ewakuacyjnych wolnych od dymu, ponieważ unoszący się dym utrudnia orientację i oddychanie.

Systemy oddymiania i wentylacji mogą być wyposażone zarówno w ręczne, jak i automatyczne ostrzegacze pożarowe wykrywające nagromadzony dym lub utrzymujące się ciepło i odprowadzające je z obszaru dróg ewakuacyjnych przez otwierane elektromechanicznie lub pneumatycznie okna lub świetliki. Oprócz tego sterowane zdalnie okna lub świetliki dymowe używane są do wentylowania pomieszczeń. W tym zakresie do dyspozycji są dodatkowe urządzenia przełączające, które mogą wydawać polecenia przełączeniowe o niższym priorytecie. Ponieważ centrale powinny działać niezawodnie także w przypadku awarii zasilania, posiadają wewnętrzne akumulatory, które gwarantują nieprzerwany dopływ energii do instalacji oddymiającej. Z tego powodu napędy służące do otwierania okien i świetlików zasilane są prądem stałym.

W podanych poniżej przykładach jako podstawę doboru urządzeń ochrony przepięciowej przyjęto typowe dla branży napię-

cie 24 V DC. Ponadto jako przykład wybrano świetliki systemu oddymiania i wentylacji otwierane napędem elektromechanicznym, którego prąd znamionowy nie przekracza 1,8 A lub 4 A DC.

Obiekt budowlany z dachem niemetalowym i zewnętrznym urządzeniem piorunochronnym

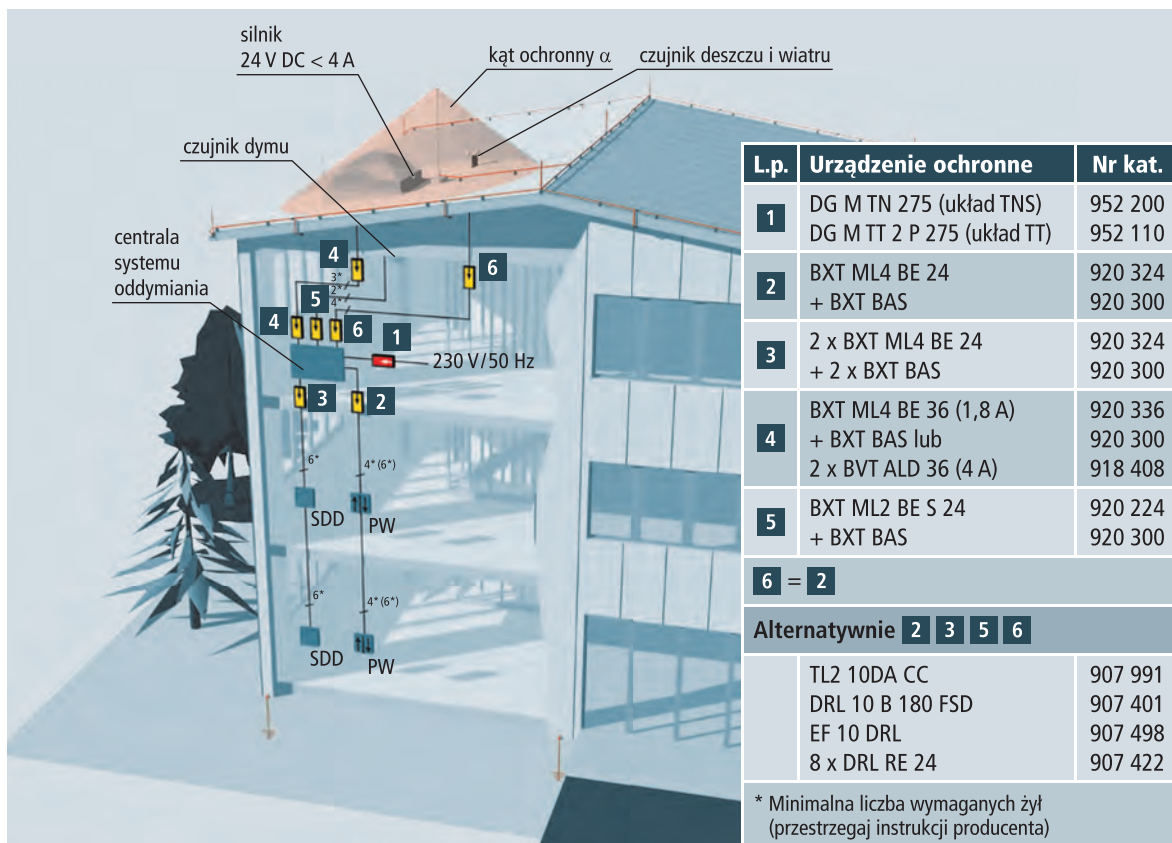
Nadbudówki dachowe wystające ponad poziom dachu lub wbudowane w połąc dachu (np. kłapy oddymiające) w budynku z zewnętrznym LPS zgodnie z normą IEC 62305-3 (EN 62305-3) należy umieścić w przestrzeni chronionej układu zwodów z zachowaniem odstępu separującego s , o ile ich wymiary przekraczają następujące wartości graniczne:

Metalowe nadbudówki dachowe wystające ponad poziom dachu lub wbudowane w połąc dachu:

- ➔ wysokości powyżej poziomu dachu: 0,3 m,
- ➔ całkowita powierzchnia nadbudówki: 1,0 m²,
- ➔ długość nadbudówki: 2,0 m;

L.p.	Urządzenie ochronne	Nr kat.
1	DG M TN 275 (układ TNS)	952 200
	DG M TT 2 P 275 (układ TT)	952 110
2	BXT ML4 BE 24	920 324
	+ BXT BAS	920 300
3	2 x BXT ML4 BE 24	920 324
	+ 2 x BXT BAS	920 300
4	BXT ML4 BE 36 (1.8 A)	920 336
	+ BXT BAS lub	920 300
	2 x BVT ALD 36 (4 A)	918 408
5	BXT ML2 BE S 24	920 224
	+ BXT BAS	920 300
6 = 2		
Alternatywnie 2 3 5 6		
	TL2 10DA CC	907 991
	DRL 10 B 180 FSD	907 401
	EF 10 DRL	907 498
	8 x DRL RE 24	907 422
* Minimalna liczba wymaganych żył (przestrzegaj instrukcji producenta)		

Rys. 9.27.1 Świetlik dachowy w przestrzeni chronionej zwodu pionowego na niemetalowym dachu obiektu budowlanego wyposażonego w zewnętrzne urządzenie piorunochronne



Rys. 9.27.2 Świetlik dachowy w przestrzeni chronionej zwodu pionowego na metalowym dachu obiektu budowlanego z metalową strukturą odprowadzenia prądu pioruna (szkielet stalowy, beton zbrojony lub uziemiona fasada metalowa)

Niemetalowe nadbudówki dachowe:

➔ wysokość powyżej układu zwodów: 0,5 m.

Na podstawie przytoczonych powyżej wymogów normy należy chronić świetliki dachowe systemów oddymiania lub wentylacji o określonych wymiarach przed bezpośrednim uderzeniem pioruna. W przypadku zastosowania zwodów pionowych świetliki znajdują się w strefie ochrony odgromowej LPZ 0_B, w której nie występuje zagrożenie bezpośrednim oddziaływaniem prądu piorunowego na znajdujące się w niej urządzenia elektryczne (rys. 9.27.1). Zastosowany ogranicznik przepięć zapobiega występowaniu przepięć indukowanych.

Obiekt budowlany z dachem metalowym i zewnętrznym urządzeniem piorunochronnym

W odróżnieniu od obiektów budowlanych z dachami niemetalowymi i zewnętrznym LPS dachy metalowe wykorzystywane jako układ zwodów muszą spełniać wymagania normatywne odnośnie do przenoszenia prądu piorunowego:

1. Dach metalowy może być wykorzystany jako naturalny zwód, jeżeli jego producent potwierdzi możliwość wykorzystania go do takiej funkcji (Dodatek 4 do niemieckiej normy DIN EN 62305-3).
2. Dach metalowy nie spełnia wymogu dotyczącego minimalnej grubości warstw metalowych t' (IEC 62305-3 (EN 62305-3), tabela 3) i musi być chroniony przed bezpośrednimi uderzeniami pioruna przez zwód, ponieważ w przypadku jego przedziurawienia mogłoby dojść do wybuchu pożaru materiałów łatwopalnych (lub desek drewnianych) znajdujących się pod jego powierzchnią lub też zostałaby naruszona wodoszczelność dachu. W takim przypadku zwody należy połączyć ze sobą za pomocą przewodów odpornych na przepływ prądu piorunowego, o ile nie istnieje żadne inne połączenie wytrzymałe na przepływ prądu piorunowego (np. za pomocą testowanych zacisków, twardego lutowania, spawania, zaciskania, ząbkowania, wkrętów lub nitów).
3. Dach metalowy spełnia wymóg minimalnej grubości warstw metalowych t (IEC 62305-3 (EN 62305-3), tabela 3).



Ochrona odgromowa i przepięciowa stref zagrożonych wybuchem

Podczas procesów wytwórczych, przeróbki, składowania i transportu materiałów łatwopalnych (np. benzyny, alkoholu, gazu w postaci płynnej, pyłów wybuchowych) w zakładach chemicznych i petrochemicznych pojawiają się strefy zagrożone wybuchem, w których należy wyeliminować wszelkie źródła zapłonu w celu uniknięcia wybuchu. Odpowiednie przepisy dotyczące ochrony wskazują na zagrożenia dla tego typu instalacji pochodzące od wyładowań atmosferycznych (pioruny). Należy zwrócić uwagę na to, że zagrożenie pożarowe i zagrożenie wybuchem wskutek bezpośredniego lub pośredniego uderzenia pioruna powstaje także częściowo z powodu dużych rozmiarów tego rodzaju instalacji. Aby zapewnić wymaganą dostępność instalacji oraz bezpieczeństwo, niezbędne jest koncepcyjne podejście do kwestii ochrony przed prądami piorunowymi i przepięciami dla elektrycznych i elektronicznych części instalacji związanych z procesami technologicznymi.

Koncepcja ochrony

W strefach zagrożonych wybuchem stosuje się często iskrobezpieczne obwody pomiarowe. **Rysunek 9.32.1** pokazuje schematyczną budowę tego rodzaju systemu wraz z przyporządkowaniem stref ochrony odgromowej. Ze względu na wymaganą bardzo wysoką dostępność systemów oraz konieczność przestrzegania licznych wymogów bezpieczeństwa w strefach zagrożonych wybuchem, następujące obszary instalacji podzielono na strefę ochrony odgromowej 1 (LPZ 1) oraz strefę ochrony odgromowej 2 (LPZ 2):

- ➔ elektronika pomiarowa w dyspozytorni (LPZ 2),

- ➔ przetworniki temperatury w zbiorniku (LPZ 1),
- ➔ wewnątrz zbiornika (LPZ 1).

Zgodnie ze strefową koncepcją ochrony odgromowej zawartą w normie IEC 62305-4 (EN 62305-4) wszystkie przewody na granicach stref muszą być zaopatrzone w środki ochrony przepięciowej opisane poniżej.

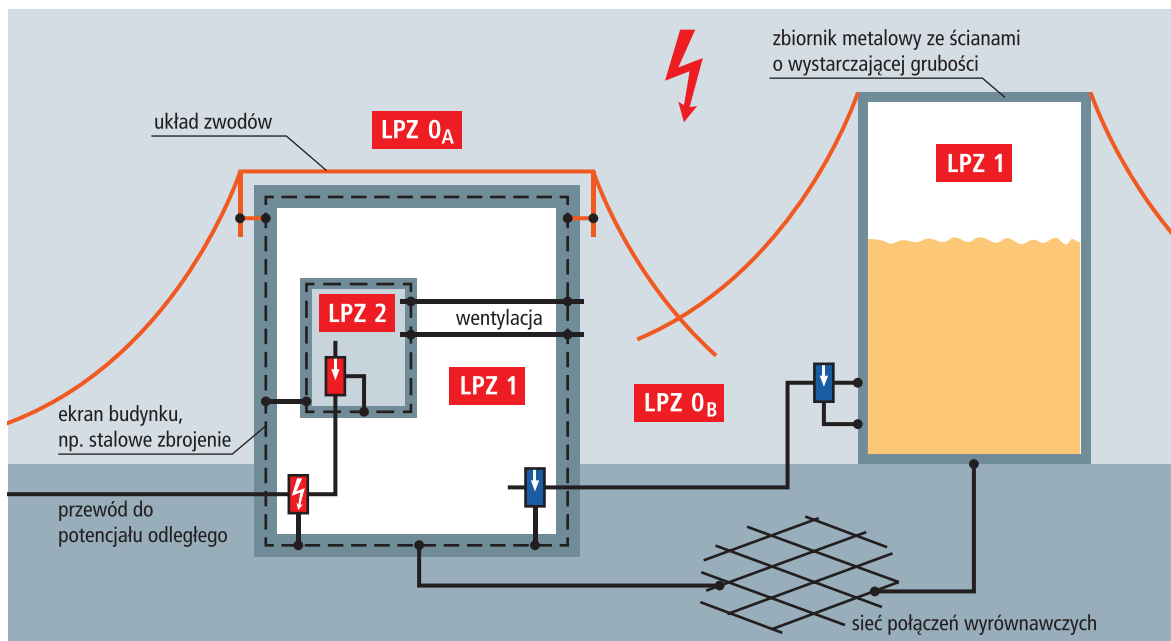
Zewnętrzne urządzenie piorunochronne

Zewnętrzne urządzenie piorunochronne obejmuje wszystkie urządzenia zainstalowane na zewnątrz chronionej instalacji służące do wychwytywania prądu pioruna i odprowadzania go do instalacji uziemiającej.

Urządzenie piorunochronne dla stref zagrożonych wybuchem jest zazwyczaj projektowane jako LPS klasy II. W uzasadnionych poszczególnych przypadkach – jeżeli mają miejsce szczególne uwarunkowania (wymogi ustawowe) lub w wyniku przeprowadzonej analizy ryzyka – można odstąpić od powyższych ustaleń. Opisane poniżej wymogi bazują jednak na przyjętej II klasie LPS.

Układ zwodów

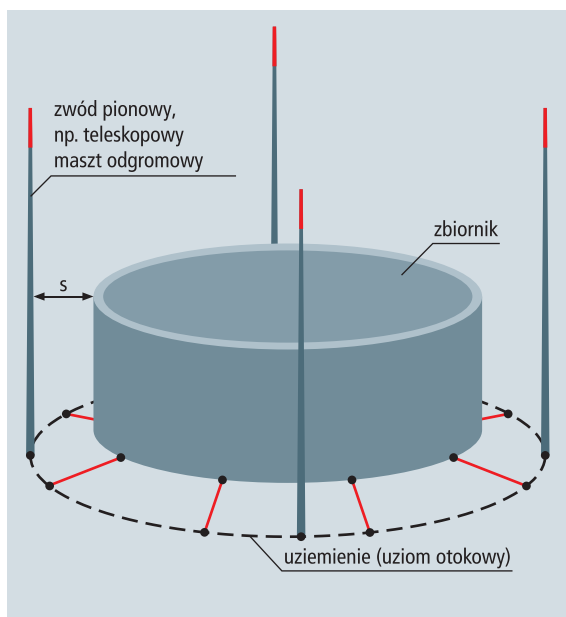
W strefach zagrożonych wybuchem należy instalować zwody przynajmniej według klasy urządzenia piorunochronnego II (**tab. 9.32.1**). Zaleca się zastosowanie metody toczonej się kuli o promieniu minimalnym dla LPS klasy II w celu ustalenia miejsc potencjalnego uderzenia pioruna. Jednakże w miejscu uderzenia pioruna w zwód może dojść do wytworzenia się iskry. Aby uniknąć w takiej sytuacji zagrożenia zapłonem, należy instalować zwody



Rys. 9.32.1 Schematyczny podział instalacji na strefy ochrony odgromowej (LPZ)

Klasa LPS	Metoda ochrony			Typowy odstęp od przewodu odprowadzającego [m]
	Promień toczonej się kuli r [m]	Kąt ochronny α	Rozmiar sieci w [m]	
I	20		5 x 5	10
II	30		10 x 10	10
III	45		15 x 15	15
IV	60		20 x 20	20

Tab. 9.32.1 Rozmieszczenie zwodów zgodnie z przyjętą klasą LPS



Rys. 9.32.2 Zwód do ochrony zbiornika z iglicami i liniami

poza obrębem stref zagrożonych wybuchem (rys. 9.32.2). Elementy konstrukcji (np. metalowe elementy konstrukcji dachu, metalowe rury i zbiorniki) można wykorzystać jako zwody naturalne, jeżeli grubość ich ścianek wynosi minimum 5 mm (zgodnie z normą IEC 62305-3 (EN 62305-3), załącznik D 5.5.2) oraz o ile wzrost temperatury i zredukowanie materiału w miejscu uderzenia pioruna nie doprowadzi do powstawania dalszych zagrożeń (np. zmniejszenie grubości ścianek w przypadku zbiorników ci-

śnieniowych, wysoka temperatura powierzchniowa w miejscu uderzenia pioruna) (rys. 9.32.1).

Przewody odprowadzające

Przewody odprowadzające są przewodzącymi elektrycznie połączeniami między zwodem a uziomem. Aby zmniejszyć powstawanie szkód podczas odprowadzania prądu pioruna do instalacji uziemiającej, należy tak umieścić przewody odprowadzające, aby:

- ➔ na drodze od miejsca uderzenia do ziemi było kilka równoległych ścieżek odprowadzenia prądu (w instalacjach ze strefami zagrożonymi wybuchem: co 10 m obwodu krawędzi dachu, jednak nie mniej niż 4 przewody odprowadzające),
- ➔ długość dróg odprowadzenia prądu piorunowego była możliwie najkrótsza,
- ➔ zostały wykonane połączenia z systemem połączeń wyrównawczych wszędzie tam, gdzie jest to konieczne,
- ➔ zapewnione były sprawdzone i skuteczne połączenia wyrównawcze na poziomie ziemi w odstępach co 20 m.

Można wykorzystać także zbrojenia obiektów budowlanych wykonanych ze zbrojonego betonu, o ile są one wytrzymałe na prąd piorunowy i trwale ze sobą połączone.

Odstęp separujący

Niebezpieczne zbliżenie między częściami zewnętrznego urządzenia piorunochronnego a instalacjami metalowymi i elektrycznymi wewnątrz budynku powstaje wtedy, gdy zbyt mały jest odstęp separujący d między zwodem lub przewodem odprowadzającym a tymi instalacjami. Odstęp separujący d nie może być mniejszy niż odstęp bezpieczny s ($d > s$).

F. Skorowidz

A

actiVsense 371, 383
 amplituda prądu piorunowego 17, 161, 182
 analiza (szacowanie) ryzyka 9–11, 27, 31–34, 50–53, 78, 86, 158, 190–191, 205, 275–276, 285, 287, 341, 343, 363, 375, 392, 399, 401, 436, 439, 447
 anoda 142–144, 146–147
 antena 67–68, 73, 78, 82, 84, 88–89, 100, 103, 105, 291, 293, 295, 355–356, 358, 399, 453, 457
 antena paraboliczna 73
 atmosfera potencjalnie wybuchowa 108, 275–276, 444

B

badanie fabryczne 164
 beton niezbrojony 129
 beton włóknisty (fibrobeton) 139
 beton zbrojony 37–39, 87, 95, 98, 129–130, 142, 144, 155–156, 414, 426, 440
 biała wanna 132–137
 biogazownia 109, 275–276, 280
 BLITZDUCTOR 183–184, 198–199, 205, 209, 245, 247–253, 257–261, 264, 268, 280, 282–283, 286, 288, 297, 302, 311, 326–327, 332, 349, 351–353, 358, 368–373, 377–378, 382–384, 400, 435, 442, 444, 456
 budynek przemysłowy 82, 88, 92, 111, 137, 168, 363
 budynek rolniczy 296–298, 407

C

ciągłość galwaniczna połączeń 58
 czarna wanna 135
 częstość uderzeń pioruna 15, 32–36
 częstotliwość graniczna 247, 249, 477
 częstotliwość sygnału 198, 249
 czysta miedź 147, 175

D

dach kryty łupkiem 115
 dach kryty strzechą 28, 69, 71, 78–80, 106
 dach metalowy 71–72, 76–78, 155, 196, 414–416, 422
 dach metalowy z rąbkiem stojącym okrągłym 77
 dach użytkowy 81
 dach z rąbkiem stojącym 77–78
 dachowa instalacja fotowoltaiczna 363–373
 dachówka zakładkowa 115
 DEHN Air-Termination Tool 50, 56
 DEHN Distance Tool 50, 54–55, 155, 365
 DEHN Earthing Tool 50, 55
 DEHN Risk Tool 50–52
 DEHNbloc 181, 210, 224–227, 230–231, 233–234, 236, 268, 280–281, 349, 351, 353, 400, 450

DEHNflex 209, 224, 229–230, 292, 294–295, 297, 322, 400–401
 DEHNgrip 77, 111–115
 DEHNguard 209–210, 224–227, 230–231, 233–236, 240, 243, 268, 280–281, 286, 302, 311, 322, 327–328, 332, 339–340, 349–351, 353, 360, 366–371, 373, 382–383, 399–400, 430–431, 435, 450, 456
 DEHNrapid 322
 DEHNshield 297, 302, 340, 360, 371–373, 382–383, 429–432
 DEHNSnap 111, 113–117
 DEHNSupport 50, 54–56, 155, 363, 375, 448
 DEHNvenCI 207, 243, 281
 DEHNventil 181, 204, 206–207, 210, 223–226, 229–231, 238, 240, 242, 280–281, 287–289, 297, 322, 327, 332, 369, 371–373, 377–378, 382–383, 396, 399–401, 430–431, 450, 456–457
 długość przewodów przyłączeniowych 234, 236–238, 243
 dobór środków ochrony odgromowej 46–47
 dostarczanie energii elektrycznej do sieci 280
 działanie ekranujące 192, 195, 199
 dziedziniec wewnętrzny 99

E

ekran ażurowy 39, 191–196
 ekran kabla 171, 197–199
 ekranowanie 38–41, 47, 52, 57–58, 188, 190, 194–196, **197**, 199, 205, 207, 210, 262, 343–344, 347, 441
 elektroda 41, 143–146
 elektroda porównawcza 143
 elektroda siarczanowo-miedziowa 143, 145–146
 elektrolit 142–144, 146
 elektryk 129, 237, 311, 322, 347
 elementy do dachów krytych strzechą 79
 elementy zewnętrznego urządzenia piorunochronnego na budynku mieszkalnym 114
 energia właściwa 17, 21–23, 218
 Ethernet 256, 280, 319, 335–336, 352, 373, 383

F

falownik (inwerter) 267, 348–351, 363–364, 367–373, 375–376, 378, 380, 380–384
 Fast Ethernet 256, 319
 fundament pasmowy 126, 129, 131, 136, 138–139
 fundament ze zwiększoną przejściową rezystancją uziomu 132–135

G

gąsior i dachówka kalenicowa krawędziowa 112, 114
 gęstość wyładowań doziemnych 15, 33–34, 50–51, 453
 główna szyna uziemiająca (GSU) 52, 127, 168, 170, 173–174, **178**, 291, 295, 313, 347, 377, 388, 405
 granulat szkła piankowego 136–137
 grupa wybuchowości 256, 258–259

- I**
- iglica odgromowa 77, 109, 276, 356, 396, 449, 457
 - impedancja uziemienia 119, 122, 124–126
 - inne materiały 147
 - instalacja antenowa 182, 291, 293, 356
 - instalacja elektroakustyczna 305–306
 - instalacja fotowoltaiczna 30, 84, 102, 363–373, 375–384
 - instalacja nadawczo-odbiorcza 355–361
 - instalacja niskiego napięcia 88, 105, 127, 173, 206, 214–215, 370, 429
 - instalacja niskiego napięcia odbiorcy 177–178, 180–181, 202, 219, 237, 289, 445
 - instalacja oddymiania i wentylacji 413–416
 - instalacja telefonii komórkowej 106, 354–358
 - instalacja uziemiająca 17, 19, 29, 55, 57–59, 61, 81, 87–88, 94, 96, 98, 103–106, 108, 110, **116**, 119–120, 122, 126–129, 136–137, 139–142, 146, 151–154, 156, 158–164, 166, 169–175, 178, 180, 190, 196, 198, 203–205, 210, 257, 268, 280, 291, 295, 332, 344–346, 358, 371, 375–377, 379–380, 383, 392, 397, 403, 415, 422, 432, 440, 444–445
 - instalacja zasilająca 175, 180, 204, 206–207, 210–211, 217, 219–221, 237, 244, 255, 280, 287, 311, 345, 350, 352, 396, 405, 411, 435, 447, 454–455
 - instalacja uziemiająca do połączeń wyrównawczych 178
 - instalacja wystająca ponad płaszczyznę dachu 78
 - ISDN 256, 280, 282, 319, 335–336, 373, 378, 382–383,
 - iskiennik gazowany 199, 246–247, 249
 - iskiennik separacyjny 12, 29, 119, 126, 148, 177–178, 198, 479
 - iskrobezpieczeństwo 31, 256–260, 288, 331–332, 439–443, 450
 - iskrobezpieczny obwód pomiarowy 245–246, 256–260, 288, 439, 441–443, 445, 450
 - iskrobezpieczny ogranicznik przepięć 258–260
 - iskrobezpieczny rodzaj ochrony przeciwwybuchowej 256
 - izolacja obwodowa (perymetryczna) 136
- J**
- jacht 453–457
 - jednostronne pośrednie uziemienie ekranu 198
- K**
- kanal kablowy 262
 - katoda 142–144, 146–147
 - klasa LPS 9–10, 27, 37, 52, 55–56, 59, **61**, 63–70, 72–74, 76–79, 81–82, 84, 86–89, 94–96, 99–100, 104, 127–128, 130, 139, 149–150, 153–154, 180, 202, 205, 276–277, 286–287, 344–345, 363–367, 375, 380, 396, 407, 415, 426, 439–440, 453
 - klasa SPD (ograniczniki z serii YellowLine) 206, 213–215, 250, 322
 - klasa temperaturowa 256, 258
 - KNX 196, 313–316
 - kombinowany ogranicznik przepięć 181, 187–188, 204–205, 207–208, 210, 212, 214–215, 218, 223–226, 229–231, 238–240, 244, 251, 272, 280–281, 283, 287, 302, 311, 316, 327, 340–341, 365–367, 371, 378, 380, 382–383, 396, 399–401, 407, 426, 429, 455, 457
 - komin 28, 72–73, 79, 89, 111, 141–142
 - komponent ryzyka 32, 34, 46–47, 52
 - konfiguracja promieniowa 200–201
 - konfiguracja zwodów pionowych i poziomych, uziomów oraz przewodów odprowadzających 110
 - konserwacja 9–11, 29, 48, 56–58, 215, 263–265, 280
 - konstrukcje zachodzące na siebie 116
 - kontrola na etapie projektowania 57–58
 - koordynacja 12, 30, 191, 207, **211–215**, 219, 229, 250, 253, 350, 356, 358, 361, 367, 429, 444–445
 - koordynacja energetyczna 207, 211–215, 219, 253, 356, 358, 361, 367, 429, 445
 - koordynacja środków ochrony 211
 - korozja 11, 29, 82, 95, 105, 110–111, 126, 129–130, 133–137, 139–141, **142–149**, 158, 165, 196, 174–175, 271, 341, 346–347, 364, 376, 403, 443, 454–455, 457
 - korozja elektrochemiczna 143–144, 175
 - korozja uziomów 142–149
 - kościół 86–87, 155, 404–405
 - kryterium doboru 247, 251–252, 258, 260, 442
- L**
- LED 339–341
 - lej potencjału 17, 19, 151, 156–157, 395, 420
 - LEMP 9, 15, 34, 47, 186–187, 190–191, 194, 215, 285, 343, 353
 - liczba przewodów odprowadzających 54, 58, 94, 128, 151–154, 287, 365–366, 381
 - licznik 181, 325–326, 356
 - lider 15–16, 63–64
 - LifeCheck 244–245, 263–264, 283, 351–353
 - linia telekomunikacyjna 36, 38, 40, 52, 182–183, 211, 263, 286, 305, 319, 335–336
 - linia transmisji danych 182–183, 201, 204–205, 210, 286, 298, 319–321, 352, 364, 370–371, 383
- Ł**
- ładunek 15–17, 20–23, 25, 64, 143–144, 218, 339, 343, 381
 - łączenie materiałów 110, 112, 147, 166
 - łączenie materiałów w instalacjach uziemiających 147
 - łączenie uziomów 122
 - łącznik uziemiający 98, 110, 126, 129–130, 133, 138–140, 148, 162, 177–178, 279, 347, 376
- M**
- maszt odgromowy 79, 84, 109, 151, 277–278, 422, 440
 - mata zbrojeniowa 422
 - materiał, kształt i wymiary minimalne uziomów 148
 - materiał przewodu 22, 96
 - materiał zwodów pionowych i poziomych, uziomów oraz przewodów odprowadzających 110
 - M-bus 254, 325–328
 - metalowa nadbudówka dachowa odizolowana elektrycznie 73
 - metoda kąta ochronnego 63, 67–69, 72–73, 78, 81, 84, 287, 370–371, 375
 - metoda oczkowa 63, 66, 73

metoda potencjałów węzłowych 54–55, 155
 metoda toczącej się kuli 56, 63–68, 72, 74, 77, 79, 81, 84, 89, 100, 277, 280, 343–344, 370–371, 375–376, 439, 453
 miejsce wejścia (instalacji) do budynku 87, **181, 183**, 198, 272, 280, 283, 287, 289, 302, 316, 327, 371, 392, 399, 401, 429
 minimalna grubość blach metalowych 72
 model elektromagnetyczny 64
 model obliczeniowy FEM 91–92, 161
 moduł ochronny 244–247, 250, 264–265, 280
 montaż przewodów odprowadzających 95–96

N

nadbudówka dachowa 66–69, 71–74, 83–85, 88–89, 100, 104–106, 150, 154, 168, 247, 413–414
 nadbudówka dachowa z materiałów nieprzewodzących 73
 największe napięcie trwałej pracy U_C 214, 218, 221, 229, 232, 249, 261, 267, 283, 475
 napięcie dotykowe 17, 39–40, 118–119, **155–156**, 158–160, 169–170, 172, 174–175, 180, 219–220, 232, 271, 345, 395–397, 399, 401, 419–420, 422, 455
 napięcie indukowane 11, 20, 108, 160, 208, 276
 napięcie krokowe 17, 19, 32, 36–37, 41–42, 46, 52, 118–119, 122, 126, 139, **155–156**, 158, 160–164, 169–170, 271, 345–346, 395–397, 401 419–422
 napięcie ograniczania 235, 246–247
 napięcie poprzeczne 444
 napięcie uziemienia 118–119, 122–124, 156, 170–171
 napięcie wzdłużne 444
 napięcie znamionowe 214, 218, 381, 441
 napięciowy poziom ochrony U_p 37–40, 207, 212, 218–219, 234, 242, 244, 246, 250, 260–261, 281, 341, 347, 350, 358–360, 367, 371, 383, 429, 443–444, 457
 narzędzie HVI strip 105
 naturalny element przewodów odprowadzających 96, 156
 naturalny element układu zwodów 71
 nieodseparowane urządzenie piorunochronne 69, 95
 niezbrojony fundament pasmowy 138
 normy wykonawcze 9–11
 NTBA 280, 336
 NTPM 336

O

obciążenie wiatrem 84, 88–92, 109–110, 168, 360
 obiekt sportowy 10, 155, 395–397
 obliczanie wartości L_0 i C_0 257
 obwód wejściowy 207, 245, 249, 251, 367, 384
 ochrona antykorozyjna 111, 143, 148, 178, 347, 364, 392
 ochrona odgromowa budynku mieszkalnego 111
 ochrona odgromowa dachów metalowych 76–78
 ochrona urządzeń końcowych 207–209, 211–215, 217–218, 244, 247, 261, 280, 359–360, 366, 429
 oczkowy układ zwodów 66, 72, 74, 82, 84, 102, 155
 oczyszczalnia ścieków 285–289
 odbiór powykonawczy 57, 58

oddziaływanie prądu korozyjnego 144
 odległość decyzji 63–65
 odległość otoków od budynku oraz głębokość układania uziomów do wysterowania potencjału 156
 odpady agresywne 149
 odporność na piorunowy prąd udarowy 202, 366, 381
 odporność na przechył 90, 92
 odporność na złamanie zwodu pionowego 91
 odseparowane zewnętrzne urządzenie piorunochronne 71, 99, 447–449
 odstęp między przewodami odprowadzającymi 94
 odstęp separujący 10, 20, 50, **54–56**, 58, 61, 69, 71–73, 79, 80, 83–84, 86, 88, 90, 92, 94–96, 99–106, 108–109, **149–155**, 158, 168, 182, 263, 277–278, 280, 287, 295, 347, 364–365, 370–373, 405, 413, 415, 420–422, 440, 454
 oględziny 56–59
 ogniwo galwaniczne 143
 ogniwo korozyjne 143, 146
 ogniwo stężeniowe 142, 144, 175
 ograniczanie prądów następczych 218–219, 239, 242–243, 280–281, 351, 356
 ogranicznik przepięć typu 1 30, 177, 181, 187–188, 202, 204–212, 214–215, 217–221, 228–229, 232, 236–240, 234–245, 248, 250, 252, 272, 280, 286–287, 314–315, 343, 347, 350–352, 356, 358–361, 365–367, 371–373, 377, 380–383, 392–393, 405, 407, 415–416, 426, 429–432, 436, 449, 455
 ogranicznik przepięć typu 2 187–188, 206–207, 209–210, 212, 214–215, 217–218, 221, 229, 239–240, 243, 248–250, 272, 280, 286–287, 302, 316, 339–341, 347, 350–351, 360, 367, 370–371, 373, 381, 383, 392, 399, 405, 407, 409, 416, 425–426, 429, 432 441, 457
 ogranicznik przepięć typu 3 207, 214, 218, 221, 229, 240, 347, 399, 407–409, 429
 operator systemu dystrybucyjnego 174–175, 206, 221, 346, 357, 377, 399
 osoba przeszkolona 55
 oświetlenie awaryjne 339, 435–436
 oświetlenie liniowe 407–409
 oświetlenie zewnętrzne 271–272
 otokowe połączenie wyrównawcze 196, 209–210
 otokowa szyna wyrównawcza 200–201, 205
 oznaczenie typów modułów ogranicznika 245

P

parametr prądu piorunowego 22–25, 65, 182
 pętla 20, 34, 39, 94–95, 149, 160, 182, 196, 249–250, 295, 313, 363–364, 373, 379, 383–384, 387–388, 405
 pierwotny dostęp do ISDN 336
 piorunowy prąd udarowy 21–22, 212, **218**, 240, 242, 345, 366, 381, 429
 płaska dachówka lub płytka 116
 płyta fundamentowa z betonu włóknistego 139
 podrozdzielnica 217–218, 222–228, 230–232, 280, 356, 399, 456
 podział na grupy wybuchowości 258

- pole elektromagnetyczne 99, 187–188, 191–192, 196, 199, 201, 207, 263, 314, 319, 343
 pole golfowe 399–403, 419, 422
 pole magnetyczne 10, 101, 160, 191–196, 200, 441
 połączenie pod powierzchnią ziemi 149
 połączenie równoległe 234
 połączenie szeregowo („w układzie V”) 234–235, 238, 365, 379–380
 połączenie uziemiające 58, 96, 98, 204, 232, 238, 260, 263, 291–292, 294
 połączenie uziemiające metalowej fasady 98
 połączenie wyrównawcze dodatkowe 445, 449
 połączenie wyrównawcze główne 180, 184, 237, 321
 połączenie wyrównawcze ochronne **177–180**, 202–203, 237, 292, 298
 połączenie wyrównawcze piorunochronne 40, 58, 61, 81, 87, 111, 126–127, 151, 178–179, 181, 203, 205, 207, 237, 243, 280, 287, 291–292, 302, 314, 316, 326, 332, 341, 347, 364, 371, 375, 377, 392, 395–396, 399, 401, 403, 405, 429, 436, 445, 449
 pomiar 24–25, 57–58, 120, 127, 143–144, 146–147, 173–175, 252, 383
 pomoc obliczeniowa 49
 potencjał elektryczny 143
 potencjał odniesienia 105, 143, 352
 potencjał powierzchni ziemi 118, 119, 126, 156, 170
 powierzchnia ekwipotencjalna uziomu fundamentowego 151
 powierzchnia zwodu, na którą może oddziaływać wiatr 90
 poziom ochrony odgromowej (LPL) **23–25**, 38–40, 58, 61, 64–65, 182, 190, 192–193, 202, 205, 229, 343, 345, 363, 426, 448, 453
 prawdopodobieństwo uszkodzenia 34, 36–37, 39, 45
 prąd piorunowy 9–10, 15–25
 prąd udarowy 21–22, 24, 109, 188–189, 199, 202, 207, 212, 214, 218–219, 221, 228, 232, 238, 239–243, 246, 271, 321–322, 340, 345, 347, 353, 361, 366, 381, 429, 453
 prąd wyrównawczy 183, 198, 205, 268, 320
 prąd znamionowy 171, 240, 242–243, 409
 prąd znamionowy I_L 247
 prąd zwarcziowy 172–173, 218–219, 228–229, 239–240, 242–243, 280, 380, 443
 prędkość transmisji danych 249
 PROFIBUS 282, 288, 331–332
 promień toczonej się kuli 61, 63–68, 86, 88, 272, 276–277
 prosty uziom powierzchniowy 121
 przebieg napięcia testowego 246
 przegląd 28, 48, 56–57
 przegląd dodatkowy 57, 58
 przegląd środków ochrony przed LEMP 214–215
 przegląd urządzenia piorunochronnego 55
 przekrój minimalny zwodów pionowych i poziomych, uziomów oraz przewodów odprowadzających 110
 przemiennik częstotliwości 267–268, 283, 351, 411
 przepięcie dorywcze (TOV) 219, 229
 przepięcie łączeniowe 217, 219, 221, 309, 320, 336, 457
 przepięcie poprzeczne 245, 249, 253, 257
 przepięcie przejściowe 198, 257, 285, 319–321, 351, 384, 399, 411
 przepięcie wzdlużne 245, 249, 251, 253, 256
 przepływ prądu piorunowego 15, 17, 23
 przestrzeń chroniona 56, 64, 67–69, 73, 78–79, 84, 88–89, 92–93, 105–106, 154, 182, 280, 293, 302, 306, 356, 364, 371, 375–377, 397, 413, 422, 457
 przestrzeń chroniona w kształcie stożka 68
 przetopienie 21, 72, 75–76, 92–93, 96, 108, 276, 279, 422
 przewód CUI 158–160, 397, 421
 przewód HVI 80–81, 95, **99–109**, 181–182, 277–278, 358, 371, 396, 447–449
 przewód HVI light 102–103, 105, 396
 przewód HVI long 103–104
 przewód HVI power 102, 104–105
 przewód niskiego napięcia 388
 przewód odprowadzający 10, 19–20, 29, 37, 39, 54–55, 57–58, 61, 63, 66, 73–74, 76, 78–81, 84, 86–88, **94**–101, 106–110, 112, 126–129, 131, 133–134, 142, 148–149, 151–156, 158–160, 165–168, 181–182, 276–277, 280, 287, 321, 344–346, 353, 365–366, 376, 380, 396, 401, 405, 415–416, 419–422, 426, 440, 448, 454
 przewód odprowadzający na dziedzińcach wewnętrznych 100
 przewód odprowadzający na rurze spustowej 98
 przewód przyłączeniowy po stronie fazy 237
 przewód przyłączeniowy po stronie uziemienia 237
 przewód uziemiający 118, 127, 139, 146–148, 170, 172–173, 175, 177–178, 182, 260, 271, 287, 293, 295, 341, 397, 405, 441, 445
 przewód wyrównawczy 58, 134–137, 147, 178, 180, 200, 237, 261, 263, 287, 295, 364, 379, 445
 przewód wyrównawczy ochronny 30, 169, 174, 178, 295, 455
 przyłącze ADSL 336
 punkt dystrybucyjny 254–256

R

- raport kontrolny 59, 167
 Red/Line 210, 219, 229, 289, 445
 rezystancja uziemienia 17, 19, 55–56, 58–59, 98, 119–127, 129–130, 132, 136, 139, 142, 151, 164, 170, 172, 175, 178, 206, 376, 392
 rezystywność gruntu 55, 119–123, 126–128, 170, 174, 380
 rozdzielnica niskiego napięcia 171, 173, 280, 370, 396, 399
 rozszerzalność cieplna 110–112
 równoważna powierzchnia zbierania 34–35
 rynna 10, 71–72, 92, 95–96, 152

S

- selektywność wyłączania 242, 280, 356
 separacja elektryczna 80, 98, 108, 142, 149, 182, 253, 292
 sieć kablowa 292
 sieć LON (local operating network) 387–389
 sieć połączeń wyrównawczych 47, 190, 193, 196, 198, 200–201
 sieć rozdzielcza niskiego napięcia 220
 specjalista z zakresu ochrony odgromowej 10, 49, 56–57, 92, 129, 190–191, 421

specyfika montażu ograniczników przepięć 261
 sprzężenie indukcyjne 160, 197, 199, 239, 292, 320, 336, 373, 376, 416
 SPS Protector 209
 stacja paliw 388–390
 stacja transformatorowa 129, 169–175, 320
 stal nierdzewna (StSt) 21–22, 72, 82, 94, 96, 110–114, 116, 128–129, 132–133, 135–139, 141, 147–149, 158, 165–167, 172, 174–175, 179, 271, 279, 291, 346–347, 358, 364, 376–378, 422, 447, 449, 454
 stal ocynkowana ogniowo 110, 145, 147–148, 175
 stal pomiedziowana 147
 stalowe zbrojenie fundamentów betonowych 147
 stan instalacji uziemiającej 58
 stan prawny 27
 stan zakłóceńowy 249
 statyw 84, 89–90, 166, 168, 449
 strategia konserwacji instalacji 263
 strefa ochrony odgromowej (LPZ) 11, 51, 184, **187–190**, 196, 202, 207–208, 215, 217, 244, 250, 271–272, 286–287, 289, 343, 347, 351–352, 439, 441, 445
 strefa wewnętrzna 188–189
 strefa zagrożona wybuchem 31, 52, 58–59, 71, 106–109, 256–260, 275–276, 280, 287, 331–332, 392, 439–445, 447, 449–451
 strefa zewnętrzna 187
 stromość 17, 20, 22–23, 149, 160, 246, 353
 sygnał dźwiękowy 291–294
 system alarmowy 12, 254, 309, 311
 system alarmowy antywłamaniowy 309
 system informatyczny 41, 61, 102, 181, 207, 209, 211, 215, 244, 254, 263–264, 283, 287, 289, 298, 311, 321, 351–352, 383, 436
 system lin asekuracyjnych 92–94
 system lokalizacji wyładowań 15
 system łączności bezprzewodowej (4G/LTE) 355–361
 system okablowania strukturalnego 254, 319
 system podgrzewania rynien 425–427
 system połączenia ekranu wytrzymałego na prąd piorunowy 183
 system pomiarowo-kontrolny 252
 system sygnalizacji pożarowej 306, 310–311, 392, 411
 system zarządzania budynkiem 253
 szyna wyrównawcza 58, 109, 126, 135, 166, **178–180**, 201, 203, 205, 209–210, 237, 263, 287, 295, 445

Ś

środki ochrony odgromowej / przepięciowej 38, 47–48, 50, 190, 219, 227, 250, 287, 301, 306, 343, 363, 376, 379, 383, 392, 401, 403, 405
 środki ochrony osobistej 219–220
 światłowód 182–183, 254–255, 319–321, 355, 387

T

technika transmisji radiowej 355–361
 telewizja przemysłowa (CCTV) 300–302, 376, 430
 tłumienie magnetyczne 191, 196

transoptor 245, 249, 252–253
 trójkątny wspornik zwodu pionowego 84
 turbina wiatrowa 16, 25, 87–88, 343–353
 typ straty 32, 34, 41–45, 49, 52, 286
 typ uszkodzenia 32, 42–46

U

udarowe napięcie wytrzymałwane 38–39, 52, 207, 350
 układ połączeń Y 366–367, 380–381
 układ sieciowy IT 128, 178, 180, 219–220, **232–233**
 układ sieciowy TN 128, 171, 178, 202, 218–**221**
 układ sieciowy TT 128, 171–172, 178, 202, 218–220, **227–229**, 232–233, 243, 370, 409
 układ zwodów 10, 37, 54, 61, **63**, 64–69, 71–88, 93–94, 98–99, 101–102, 108–110, 150, 153, 155, 159, 166, 168, 182, 276, 278–279, 293, 306, 321, 343–345, 356, 375, 396, 413–414, 419–420, 422, 426, 439
 układ zwodów na dachach dwuspadowych 72
 układ zwodów na dachach krytych strzechą 69, 71, 78–80, 106
 układ zwodów na dachach metalowych 76–78
 układ zwodów na dachach płaskich 73
 układ zwodów na dachach zielonych i dachach płaskich 82
 układ zwodów na turbinach wiatrowych 87, 345
 układ zwodów na wieżach kościelnych i kościołach 86
 układ zwodów nieodseparowanych 69
 układ zwodów odseparowanych 68–69, 71–72, 78, 82–85, 106, 150, 168, 278–279, 396, 422
 układ zwodów z wieloma iglicami 77
 umowa wykonawcza 11
 UMTS 355
 urządzenie do pomiaru temperatury 251–252
 urządzenie ochrony nadprądowej 58, 220–221, 227–229, 232, 239, 242, 339, 407, 409, 435
 urządzenie piorunochronne (LPS) 9–12, 17, 21–23, 27–29, 37–39, 47, 49–52, 54–59, **61**, 63–74, 76, 78–79, 82, 86–88, 92–95, 97–100, 103, 105–111, 118–119, 126, 129, 131, 134, 142, 149, 151, 153–155, 158, 164, 166–168, 180, 182, 208, 215, 247–249, 252, 255, 275–278, 280, 286–287, 291–293, 295, 302, 306, 314, 316, 326, 332, 335, 341, 343–345, 356–358, 363–366, 370–371, 373, 375, 377, 379–380, 392, 395–397, 399, 405, 413–414, 416, 419–422, 425–426, 429, 432, 439–440, 445, 447, 449, 453–455, 457
 urządzenie różnicowoprądowe (RCD) 221, 227–229, 232–233, 267, 455
 usługi interaktywne 30, 290
 uziemienie 12, 29–31, 37–38, 40–41, 87, 101, **116**, 118, 141–142, 158, 160, 169–172, 174–175, 183, 197–199, 209, 220, 237–238, 260, 263, 280, 291, 295, 313, 320, 345–347, 352, 358, 364, 376, 381, 384, 403, 420, 429, 443–444
 uziemienie ekranu 183, 197–199, 263, 320, 352, 384,
 uziemienie instalacji ochrony odgromowej 118, 142, 160
 uziom do budynków z „czarną wanną” 135–136
 uziom do budynków z „białą wanną” 132–135

uziom fundamentowy 29, 55, 57–58, 87–88, 98, 110, 116, 118, **126–139**, 147–148, 151–152, 154–158, 169, 178, 291, 344, 346–347, 397
 uziom fundamentowy z łącznikiem uziemiającym 129
 uziom naturalny 118
 uziom pionowy 55, 58, 118, 120, 122–128, **140–141**, 151, 167, 173–175, 341, 346, 358, 403, 419–422
 uziom powierzchniowy 110, 118, 121–127, 141, 174
 uziom promieniowy 123–125, 127–128, 141, 403
 uziom typu A 98, 127, 140–141, 151, 202, 346
 uziom typu B 98, 127–129, 139–140, 151, 153, 202, 346
 uziom w gruncie skalistym 141
 uziomy głębokie połączone równolegle 124

W

wartości potencjału i szybkości korozji typowych materiałów metalowych 145
 wartość szczytowa 17, 24, 64–65, 126, 183, 218
 wbudowany bezpiecznik (zabezpieczenie nadprądowe) 235–236, **243**
 wewnętrzne urządzenie piorunochronne 46, 176, 180, 276, 292, 335, 449, 455
 wewnętrzny przewód odprowadzający 99, 152
 wiata 155, 158, 399, 419–422
 winda 411
 wolnostojąca instalacja fotowoltaiczna 375–384
 wolnostojący zwód pionowy 84, 89–92
 wspornik dachowy 74–75, 77, 112–116
 wspornik przewodów do montażu na dachach płaskich 75
 wspornik przewodów do montażu na gąsiorach i dachówkach kalenicy krawędziowych 112–113, 115
 współczynnik ekranowania SF 192–195
 współczynnik indukcyjny 149–150, 154
 współczynnik materiałowy 100, 149–151, 173
 współczynnik podziału prądu 54, 95, 149, 151–154
 współczynnik straty 34, 448
 wybuch 22, 32, 36–37, 41–45, 51–52, 58–59, 71–72, 106–109, 256–260, 276–277, 279–280, 287, 331, 344, 392, 439–445, 447, 449
 wychylenie zwodu 92
 wyładowanie atmosferyczne **15–17**, 20, 32, 187, 285, 321, 363, 375, 439, 445, 453
 wyładowanie chmura-ziemia 15–16, 24–25
 wyładowanie oddolne 15–17, 24–25, 63–64, 343
 wyładowanie odgórne 15–16, 18, 23–25, 343
 wyładowanie ziemia-chmura 15–17, 24, 343

wyłącznik główny niskiego napięcia 173
 wymiary montażowe zewnętrznych urządzeń piorunochronnych 110
 wymiary uziomów otokowych 111
 wyniesiona głowica radiowa (RRH) 355–361
 wyniesiony moduł radiowy (RRU) 355–361
 wyparowywanie 76
 wypust uziemiający 97, 110, 129–131, 137–138, 148, 195–196, 200–201, 204, 208, 346–347
 wysokość zwodu pionowego 56, 66–67, 92, 166
 wystawianie potencjału **119**, 127, 155–156, 158, 170–171, 271, 346, 397, 419, 422
 wytrzymałość izolacyjna 36, 199, 245–246, 253, 257, 260, 384, 442–443
 wytrzymałość zwarcia 218, 239
 wzrost potencjału 19, 170–171, 175, 257, 335–336
 wzrost temperatury 21–22, 72, 94–96, 109, 256, 440, 443
 wzrost temperatury ΔT w °K przewodów wykonanych z różnych materiałów 22, 96

Y

Yellow/Line 206, 213, 215, 250, 322

Z

zabezpieczenie nadprądowe 218, 221, 227, 234–236, 239–240, 242–243, 249, 429
 zacisk dwuprzewodowy 234–235
 zacisk probierczy 11, 29, 58–59, 78, 80, 98–99, 160, 168
 zacisk przelotowy (STAK) 234–235
 zakłócenia piorunowe w okablowaniu IT 255
 zakrzywienie (głębokość wnikania) toczącej się kuli 56, 66–67, 277
 zarządzanie ryzykiem 9, 28, 31, 49, 363
 zbiornik fermentacyjny 109, 275–279
 zbiornik stalowy 278–280
 zdolność gaszenia prądów następczych 218, 232, 247
 zdolność odprowadzania prądu piorunowego 366, 445, 449
 zestaw przyłączeniowy do systemu lin asekuracyjnych 93–94
 ziemia odniesienia 116, 119, 126, 156–157, 169
 znamionowy prąd wyładowczy I_n 218
 zwód poziomy 67, 69, 71–72, 74–76, 78–79, 81, 82, 84, 86, 95, 101, 111, 166, 422
 zwód pionowy 54, **66–67**, 69–71, 72–73, 78, 81, 83–84, 87–93, 99, 101, 103, 110–111, 150–152, 154–155, 166–167, 287, 293, 301, 365, 370–371, 376–377, 379, 414–415, 422, 432, 454–455

Ź

źródła uszkodzenia, 31–32, 46

Publikacje DEHN

Ochrona przepięciowa instalacji zasilających	
DEHNsecure chroni instalacje prądu stałego	DS 187
Ogranicznik kombinowany DEHNshield® zoptymalizowany pod kątem zastosowania	DS 193
Więcej miejsca w szafce rozdzielczej – ograniczniki z bezpiecznikiem	DS 196
Ochrona przed przepięciami i pożarem. Ograniczniki przepięć z technologią SCI do obwodów DC	DS 215
Ochrona przepięciowa opraw LED do oświetlenia ulic	DS 253
Dobór i stosowanie SPD. Poradnik dla producentów rozdzielnic	WP 350
Ochrona przepięciowa systemów informatycznych i telekomunikacyjnych	
BLITZDUCTOR® XT z układem LifeCheck	DS 143
Łatwy dobór – Yellow / Line. Ochrona przepięciowa sieci sygnałowych	DS 150
BLITZDUCTOR XTU – uniwersalny ogranicznik przepięć z technologią actiVsense	DS 164
Ochrona odgromowa / uziemienie	
Ochrona przed napięciem dotykowym. Izolowany przewód uziemiający CUI	DS 139
Kompleksowe rozwiązania zewnętrznej ochrony odgromowej	DS 151
Uziomy fundamentowe	DS 162
Innowacja w ochronie odgromowej. Przewód o izolacji wysokonapięciowej HVI®	DS 212
Ochrona odgromowa w systemach ETIC	DS 236
Szybko i bezpiecznie. DEHNclip – zacisk do prętów zbrojenia	DS 263

Sprzęt bezpieczeństwa	
Bezpieczeństwo instalacji przemysłowych. System ochrony przed łukiem elektrycznym DEHNshort	DS 241
Katalogi	
Ograniczniki przepięć do instalacji fotowoltaicznych – katalog skrócony	DS 329
Ochrona przed przepięciami Red/Line – katalog skrócony	DS 331
Ochrona przed przepięciami – katalog główny	DS 401
Ochrona odgromowa / uziemienie – katalog główny	DS 403
Sprzęt bezpieczeństwa – katalog główny	DS 405
Branżowe rozwiązania ochrony	
DEHN chroni elektrownie wiatrowe	DS 103
DEHN chroni stacje bazowe	DS 104
DEHN chroni instalacje fotowoltaiczne	DS 109
DEHN chroni biogazownie	DS 144
DEHN chroni urządzenia infrastruktury kolejowej	DS 180
DEHN chroni inteligentne sieci energetyczne	DS 243
Foldery ogólne	
DEHN chroni przed przepięciami: dom, biuro, przemysł	DS 614
Gdy uderza piorun. Jak się zachować podczas burzy	DS 661

