

# Ochrona odgromowa i przepięciowa akumulatorowych systemów magazynowania energii elektrycznej

Lightning and surge protection for battery storage systems

Krzysztof Wincencik

**Słowa kluczowe:** magazyn energii, wyładowanie piorunowe, przepięcie, ogranicznik przepięć, strefowa koncepcja ochrony, odseparowane urządzenie piorunochronne, piorunowe połączenia wyrównawcze

W artykule przedstawiono zagrożenia związane z oddziaływaniem wyładowań atmosferycznych na systemy magazynów energii. Na podstawie aktualnych norm z zakresu ochrony odgromowej i przepięciowej przedstawiono zasady doboru środków ochrony przed wyładowaniem bezpośrednim dla magazynów energii zlokalizowanych w metalowych kontenerach oraz budynkach murowanych. Zwrócono uwagę na konieczność kompleksowej ochrony przepięciowej linii zasilających i sygnałowych wprowadzanych do wnętrza obiektu. Podkreślono konieczność ochrony przepięciowej urządzeń elektrycznych i elektronicznych wewnątrz magazynu. Zaprezentowano specjalistyczne ograniczniki przepięć do ochrony obwodów prądu stałego (systemy akumulatorów DC).

**Keywords:** battery storage system, lightning strike, surge, overvoltage, surge arrester, lightning protection zone concept, isolated lightning protection system, lightning equipotential bonding

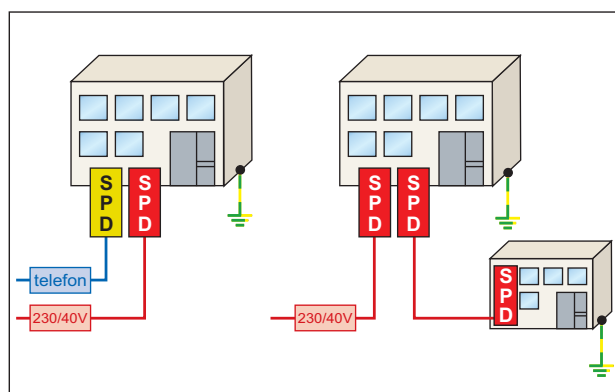
The article depicts hazards related to lightning strikes to battery storage systems. It presents the principles of selection of direct lightning protection measures for battery storage systems located in metal containers and brick buildings in accordance with the latest lightning and surge protection standards. The necessity of comprehensive surge protection of incoming supply and signal lines was pointed out. The emphasis was also put on the importance of surge protection of electrical and electronic devices inside a storage facility. Finally, the author mentioned specialized surge arresters for DC systems (DC battery systems).

Akumulatorowe systemy magazynowania przechowują nadwyżkę energii elektrycznej wytwarzanej przez instalacje fotowoltaiczne (PV) i w razie potrzeby dostarczają ją z powrotem do sieci. Dzięki temu można bilansować wahania i obciążenia szczytowe w sieci zasilającej.



Rys. 1. Pakiet DEHNSupport Toolbox – zawierający m.in. program wspomagający wykonanie analizy ryzyka zgodnie z normą PN-EN 62305-2

Fig. 1. DEHNSupport Toolbox software including a module for risk analysis in accordance with the PN-EN 62305-2 standard

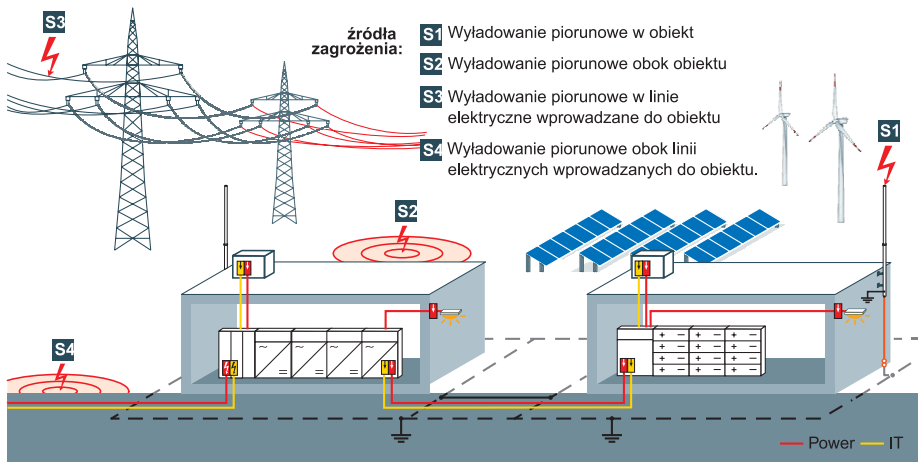


Rys. 2. Dodatkowe ograniczniki przepięć do ochrony linii telefonicznej oraz linii wychodzącej z obiektu

Fig. 2. Additional surge protection devices for the protection of a phone line and an outgoing line

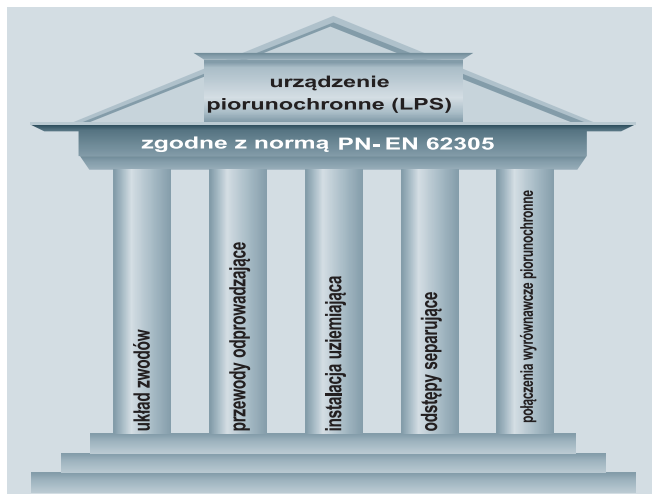
Przepięcia oraz bezpośrednie uderzenia pioruna stanowią realne zagrożenie dla systemów magazynowania energii elektrycznej. Wyładowania atmosferyczne mogą uszkodzić wrażliwe układy elektroniczne stosowane w procesie ładowania i rozładowywania systemów akumulatorowych. Pojawiające się przepięcia często wielokrotnie przekraczają wytrzymałość dielektryczną elementów

Mgr inż. Krzysztof Wincencik (krzysztof.wincencik@dehn.pl) – DEHN Polska Sp. z o.o., Warszawa



Rys. 3. Źródła zagrożenia obiektu spowodowane wyładowaniem atmosferycznym

Fig. 3. Sources of damage caused by lightning strikes to a structure



Rys. 4. Elementy urządzenia piorunochronnego

Fig. 4. Components of a lightning protection system

elektronicznych. Skoki napięcia sieciowego (przebiecia łączeniowe) także mogą uszkodzić części elektroniczne. W rzeczywistości wystarczy jeden wadliwy element, aby spowodować awarię całego systemu magazynowania energii elektrycznej. W takiej sytuacji operator systemu musi sięgnąć po rozwiązania awaryjne, aby wypełnić swoje zobowiązania umowne, co generuje wysokie koszty. Aby zminimalizować kosztowne prace konserwacyjne i naprawcze oraz zapewnić dostępność systemu magazynowania energii elektrycznej – należy dopasować rozwiązania ochrony odgromowej i przepięciowej do przewidywanych zagrożeń.

### NORMY JAKO PODSTAWA DOBORU ŚRODKÓW OCHRONY

Aby móc ocenić, czy do magazynu energii wymagany jest zewnętrzny system ochrony odgromowej, należy przeprowadzić analizę ryzyka zgodnie z PN-EN 62305-2. Analizę z uwzględnieniem sposobu użytkowania systemu, struktur systemu i regionalnych warunków lokalnych, można wykonać np. za pomocą oprogramowania DEHNsupport Toolbox (rys. 1).

Analiza ryzyka pozwala ocenić wielkość ryzyka dla obiektów magazynów energii i podjąć konkretne działania w celu jego zmniejszenia. W ten sposób można dobrać uzasadnione ekonomicznie środki

ochronne, które są dostosowane do właściwości konstrukcyjnych i sposobu użytkowania magazynu. Analiza ryzyka nie tylko pozwala określić klasę LPS, ale także opracować kompletną koncepcję ochrony, w tym wymagane środki ochrony przed LEMP (Lightning Electromagnetic Pulse – piorunowy impuls elektromagnetyczny).

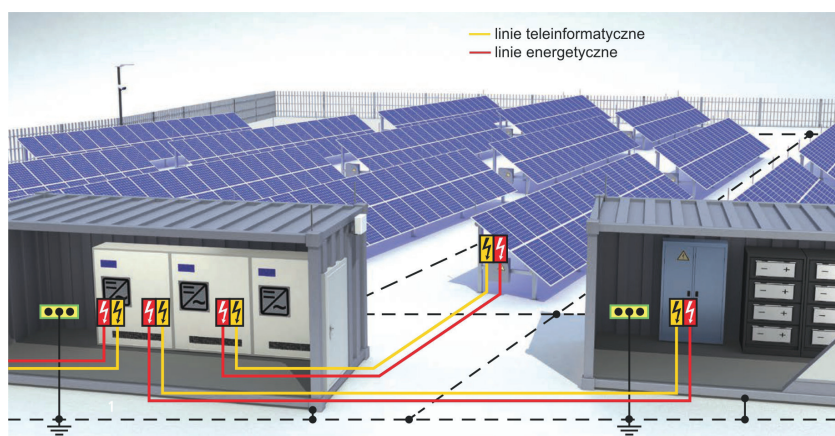
Jeżeli wynik analizy ryzyka wykaże, że istnieje ryzyko bezpośredniego uderzenia pioruna w obiekt, należy również zapewnić zewnętrzny system ochrony odgromowej zgodnie z PN-EN 62305-3. Przy doborze środków ochrony przed przepięciami należy również wziąć pod uwagę normę PN-HD 60364-4-443. Dotyczy to ochrony systemów elektrycznych od przepięć przejściowych, przepięć przenoszonych przez sieć energetyczną, w tym bezpośrednich uderzeń pioruna w linie zasilające oraz przepięć przejściowych pojawiających się w wyniku operacji łączeniowych w systemie energetycznym. W arkuszu 443. zapisano, że ochronę przed przepięciami zapewnia zamontowanie urządzenia do ograniczania przepięć (SPD) – definiując je dzięki zapisom normy PN-EN 61643-11:2013. Czyli urządzenie do ograniczania przepięć (SPD) to urządzenie, które zawiera co najmniej jeden element nieliniowy, przeznaczony do ograniczania napięć udarowych i odprowadzania do ziemi prądów udarowych. Norma zwraca uwagę na konieczność kompleksowego podejścia do zagadnień ochrony przepięciowej w obiekcie. Jeżeli w danym budynku wymagane jest zastosowanie ograniczników przepięć w liniach zasilających, to dodatkowo zaleca się zastosowanie ograniczników przepięć również w innych liniach, takich jak np. linie telekomunikacyjne (rys. 2).

### Minimalna grubość blach metalowych

Klasa LPS	Materiał	Grubość <sup>1)</sup> $t$ [mm]	Grubość <sup>2)</sup> $t'$ [mm]
od I do IV	ołów	-	2,0
	stal (nierdzewna, ocynkowana)	4	0,5
	tytan	4	0,5
	miedź	5	0,5
	aluminium	7	0,65
	cynk	-	0,7

<sup>1)</sup>  $t$  – zapobiega perforacji.

<sup>2)</sup>  $t'$  – tylko dla blach metalowych, o ile nieistotne jest zapobieganie perforacji, przegrzaniu lub zapłonowi.



Rys. 5. Schemat ochrony odgromowej i przepięciowej magazynu energii zlokalizowanego w metalowym kontenerze

Fig. 5. Diagram of lightning and surge protection of a battery storage system in a metal container



Rys. 6. Kontenerowy magazyn energii firmy VARTA GmbH – widoczny zwód pionowy w narożniku kontenera

Fig. 6. Container battery storage system from VARTA Storage GmbH – air-termination rod in the corner of the container

Arkusz 443 zawiera jedynie wymagania dotyczące stosowania ochrony przepięciowej w instalacjach elektrycznych nn. W celu uzyskania informacji dotyczących wymagań dla ochrony przed przepięciami w liniach transmisji danych należy skorzystać z dokumentu CLC/TS 61643-22 (dokument ten nie figuruje jako polska norma w PKN).

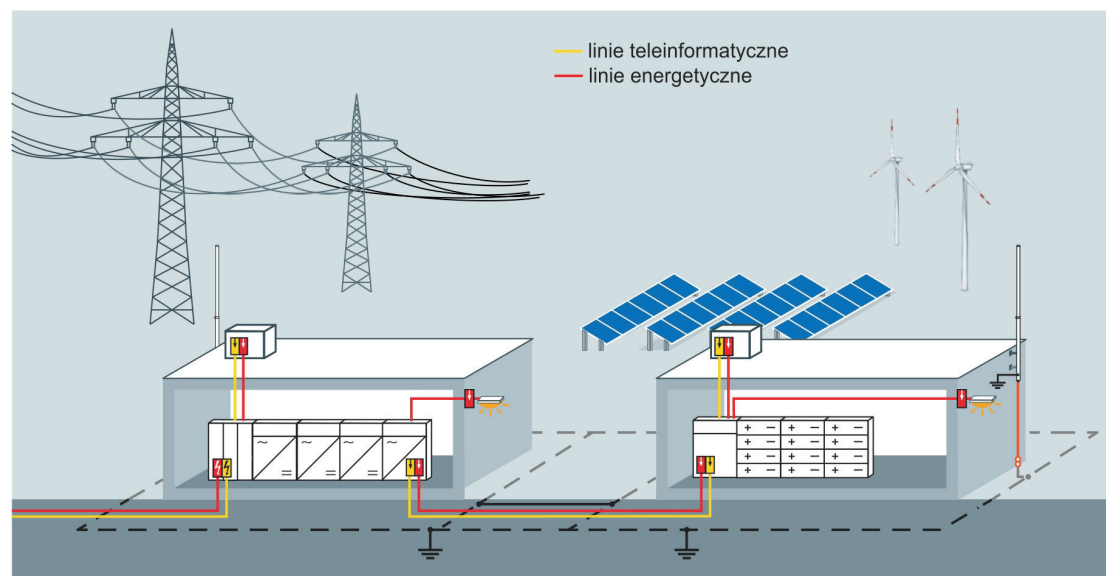
Jeżeli w instalacji elektrycznej konieczne jest stosowanie ograniczników przepięć, to ich dobór i montaż powinien być zgodny z zapisami zawartymi w normie PN – HD 60364-5-534. W przypadku rynku niemieckiego zastosowanie mają także zapisy normy VDE-AR-E 2510-2 Stacjonarne systemy magazynowania energii przeznaczone do podłączenia do sieci niskiego napięcia.

### ZAGROŻENIE MAGAZYNÓW ENERGII SPOWODOWANE WYŁADOWANIEM PIORUNOWYM

Źródłem uszkodzenia lub przyczyną wadliwego działania, a nawet zniszczenia elementów elektronicznych w obiekcie magazynu energii w wyniku przepięć mogą być: przepięcia atmosferyczne – spowodowane przez bezpośrednie, jak i pobliskie wyładowania piorunowe, przepięcia łączeniowe – spowodowane operacjami przełączania (manewrowe), powstającymi podczas wyłączenia prądów zwarciovych, małych prądów indukcyjnych i prądów pojemnościowych.

Źródło zagrożeń spowodowanych przez uderzenia pioruna można podzielić na cztery grupy w zależności od punktu uderzenia zgodnie z PN-EN 62305-2:

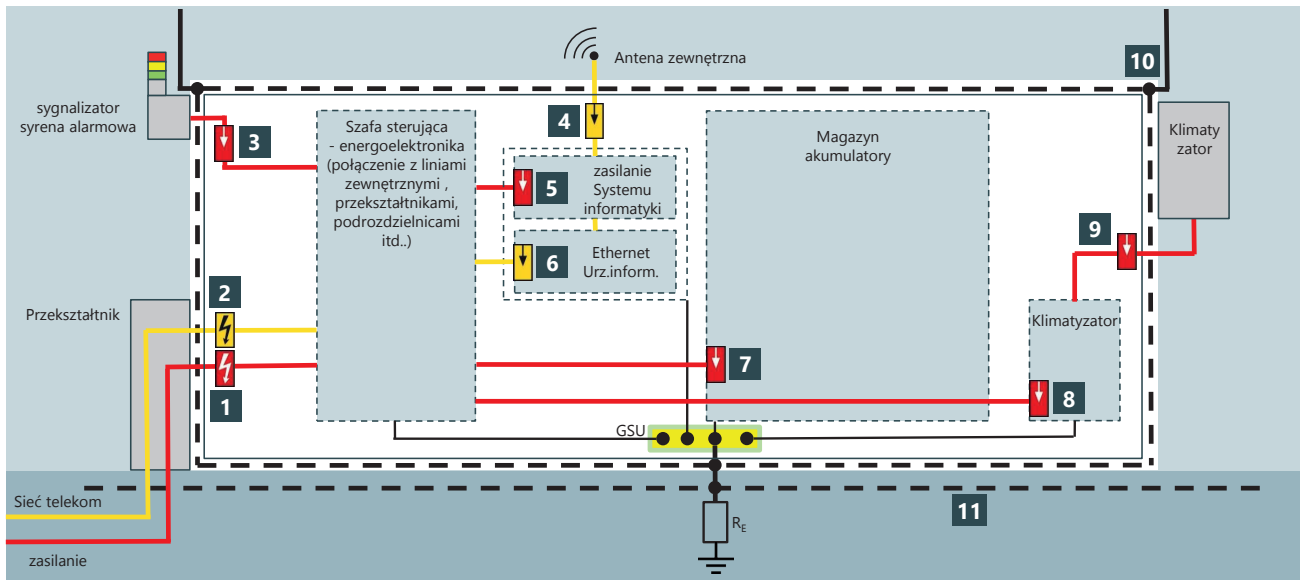
- S1 – bezpośrednie wyładowania w obiekt – np. kontener stanowiący magazyn energii,
- S2 – wyładowania w pobliżu obiektu,
- S3 – wyładowania w linię zasilającą wchodzącą do wnętrza obiektu,
- S4 – wyładowania w pobliżu linii wchodzącej do obiektu.



Rys. 7. Schemat ochrony odgromowej i przepięciowej magazynu energii zlokalizowanego w budynku betonowym

Fig. 7. Diagram of lightning and surge protection of a battery storage system in a concrete structure

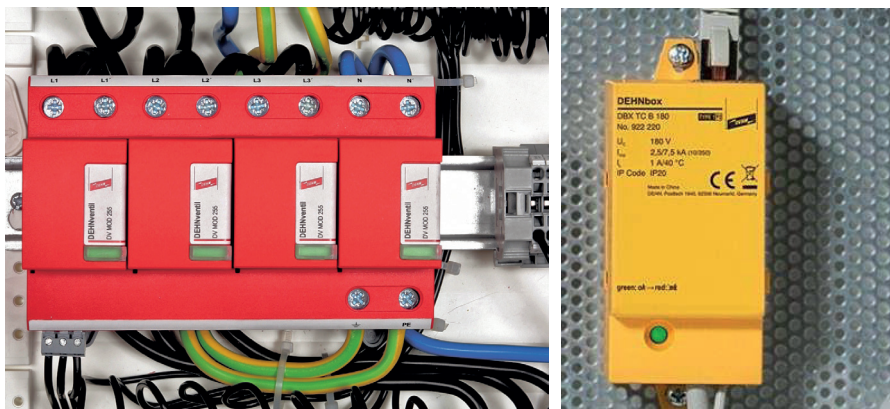




Rys. 8. Ochrona przepięciowa magazynu energii  
Fig. 8. Surge protection of a battery storage system

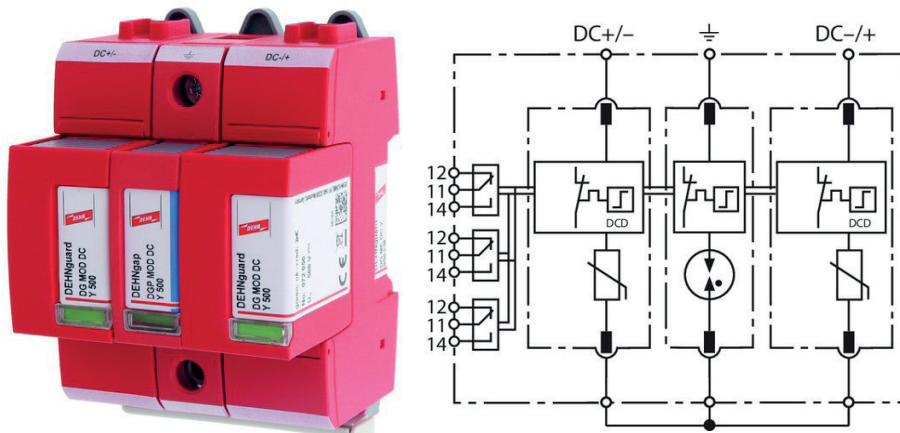
Promień zagrożenia wokół miejsca uderzenia pioruna i związane z nim szkodliwe skutki mogą wynosić ponad dwa kilometry, w zależności od natężenia pioruna i charakterystyki uziemienia. Dobierając środki ochrony, należy brać pod uwagę kształty uderów zakłócających, jakie mogą dotrzeć do obiektu. Przy wyładowaniu bezpośrednim

w magazynie lub linię dochodzącą mamy do czynienia z prądem piorunowym o kształcie impulsu 10/350  $\mu$ s. Podobny kształt zakłócenia, ale o mniejszej amplitudzie pojawia się w przypadku przenoszonych linią częściowych prądów piorunowych. W przypadku przepięć w liniach zasilających powstających w wyniku sprzężeń in-



Rys. 9. Ograniczniki przepięć typu T1 do realizacji piorunochronnych połączeń wyrównawczych: a) kombinowany SPD do instalacji elektrycznej w układzie TNS, b) ogranicznik przepięć od ochrony linii telekomunikacyjnych VDSL

Fig. 9. Type 1 SPDs for lightning equipotential bonding: a) lightning current and surge arrester for TNS systems, b) SPD for the protection of VDSL telecommunication lines



Rys. 10. Wygląd i schemat wewnętrzny SPD typu I do ochrony obwodów DC  
Fig. 10. Type 1 SPD for the protection of DC circuits and its internal diagram

dukcyjnych/pojemnościowych przyjmujemy kształt impulsu 8/20  $\mu$ s. Źródłem zagrożeń dla aparatury elektronicznej wewnątrz magazynu mogą być również przepięcia łączeniowe (tzw. SEMP = switching electro-magnetic pulse).

System ochrony odgromowej zgodnie z PN-EN 62305-3 składa się z zewnętrznego i wewnętrznego urządzenia piorunochronnego (rys. 4). Zewnętrzne urządzenie piorunochronne ma za zadanie:

- przejmowanie bezpośrednich uderzeń pioruna za pomocą układu zwodów,
- bezpieczne odprowadzanie prądu pioruna do ziemi za pomocą przewodów odprowadzających,
- rozproszczenie prądu pioruna w ziemi przez instalację uziemiającą.

Powyższa norma zaleca, aby już w projekcie obiektu uwzględnić wykorzystanie jego części metalowych jako części zewnętrznego urządzenia piorunochronnego. Jeśli system magazynowania energii został zaprojektowany jako obiekt w postaci metalowego kontenera, to jego metalową powierzchnię ścian zewnętrznych można wykorzystać jako naturalne elementy urządzenia piorunochronnego. Warunkiem jest trwałe oraz ciągłe połączenie elementów kontenera zdolnych do odprowadzenia prądu pioruna do uziemienia. W przypadku bezpośredniego uderzenia w kontener prąd pioruna przepływa do ziemi przez metalową obudowę pojemnika. Należy brać pod uwagę rodzaj i grubość materiału, z którego wykonano kontener – należy upewnić się, że blacha nie ulegnie stopieniu w przypadku bezpośredniego uderzenia pioruna. Wytopienie otworu w ścianie kontenera mogłoby prowadzić do późniejszych uszkodzeń w systemie magazynowania, np. na skutek penetracji wody z opadów. W tabeli przedstawiono informacje, czy w zależności od grubości i materiału, może nastąpić wytopienie lub niedopuszczalne punktowe przegrzanie, czy też kontener powinien wytrzymać bez uszkodzeń uderzenie pioruna.

Jeśli np. podano, że kontener wykonano z blachy stalowej o grubości materiału > 4 mm, nie należy oczekiwać topnienia lub niedopuszczalnego rozgrzania w miejscu bezpośredniego uderzenia pioruna. W takim przypadku metalowy dach kontenera może służyć jako naturalny zwód. Należy przy tym pamiętać, że cienka powłoka z farby lub folia PVC o grubości 0,5 mm nie są uważane za izolację w przypadku bezpośredniego uderzenia pioruna. Jeśli grubość materiału kontenera jest mniejsza niż 4 mm, to należy zastosować układ zwodów chroniących powierzchnię dachu przed trafieniem bezpośrednim, aby zapobiec powstawaniu punktowego wytopienia lub przegrzania. Wysokość zwodów należy dobierać indywidualnie w zależności od wymiarów pojemnika, tak aby cały obszar i przyległa aparatura znajdowały się w jego obszarze ochronnym (rys. 5, 6).

Magazyny energii mogą być zlokalizowane również w obiektach murowanych lub żelbetowych. Na dachu takich budynków często możemy spotkać urządzenia takie jak: klimatyzatory, oświetlenie zewnętrzne, anteny itd. Aby zapobiec niebezpiecznym przeskokom między elementami zewnętrznego urządzenia piorunochronnego a zlokalizowaną wewnątrz aparaturą, konieczne jest zachowanie odstępu separacyjnego podczas projektowania i wykonywania urządzenia piorunochronnego. Brak zachowania bezpiecznego odstępu separującego może prowadzić do bezpośrednich przeskoków iskrowych i spowodować poważne uszkodzenia aparatury elektronicznej i elektronicznej. W takim przypadku zaleca się wykonanie odseparowanego urządzenia piorunochronnego metodami konwencjonalnymi lub z wykorzystaniem przewodów o izolacji wysokonapięciowej (np. przewodów HVI). Przykład ochrony magazynu energii zlokalizowanego w budynku betonowym za pomocą odseparowanego LPS pokazano na rys. 7. Aby zapewnić długowieczność i funkcjonalność systemu uziemienia, zaleca zastosować materiał trwale odporny na korozję, taki jak stal nierdzewna.

## PIORUNOCHRONNE POŁĄCZENIA WYRÓWNAWCZE I OCHRONA PRZECIWPRIĘCIOWA URZĄDZEŃ WEWNĄTRZ MAGAZYNU ENERGII

Piorunochronne połączenia wyrównawcze należy wykonać dla linii elektrycznych i telekomunikacyjnych wchodzących do obiektu. Zaleca się, aby wszystkie przewody każdej linii były łączone bezpośrednio lub za pomocą SPD. Zastosowane ograniczniki przepięć powinny wytrzymać bez uszkodzenia spodziewaną część płynącego przez nie prądu pioruna. SPD powinny również mieć zdolność gaszenia elektroenergetycznych prądów następczych sieci zasilającej, jeżeli są przyłączone do jej przewodów. Odpowiednio dobrane ograniczniki przepięć muszą być zainstalowane jak najbliżej wejścia do kontenera, aby zapobiegać przedostawaniu się zakłóceń do wnętrza obiektu. W przypadku, gdy zagrożenie mogą stanowić częściowe prądy pioruna, należy zastosować ograniczniki przepięć typu 1, testowane prądem  $I_{IMP}$  o kształcie 10/350  $\mu$ s. W przypadku, gdy dane linie nie są narażone na przewodzenie części prądu pioruna stosujemy SPD Typ 2 testowane prądami o kształcie 8/20  $\mu$ s. SPD powinny być zgodne z PN-EN 61643-11 i zapewnić poziom ochrony  $U_p$  niższy niż wytrzymywany poziom napięcia udarowego chronionych urządzeń. Przykład kompleksowej ochrony przepięciowej magazynu energii pokazano na rys. 8.

W przypadku linii mogących wprowadzić do wnętrza obiektu częściowe prądy piorunowe zastosowano ograniczniki przepięć typu T1 (element nr 1 i nr 2). Przykład takich ograniczników pokazano na rys. 9. Pozostałe obwody chronione są za pomocą ograniczników przepięć typu 2. Elementy na zewnątrz obiektu (klimatyzator, syrena alarmowa) znajdują się w strefie osłonowej, którą zapewniają zwody pionowe (element nr 10) i nie są tym samym narażone na bezpośrednie uderzenie pioruna.

Jeśli istnieje ryzyko oddziaływania prądu piorunowego (w drodze galwanicznego lub indukcyjnego/pojemnościowego sprzężenia) na baterie akumulatorów po stronie prądu stałego (gdy np. akumulatory i falownik znajdują się w różnych obiektach), należy zapewnić dodatkowe odpowiednie środki ochrony odgromowej i zastosować ograniczniki przepięć. Ważne jest, aby były one specjalnie zaprojektowane do obwodów prądu stałego. Przykładem takiego modułowego kombinowanego ogranicznika SPD typu 1 jest DEHNguard ME DC Y 950 FM pokazany na rys. 10. Ogranicznik ten ma specjalny system odłączania prądu stałego DCD (direct current disconnection), zapobiegający powstawaniu zagrożeń wywołanych łukiem elektrycznym. Może on pracować w instalacjach DC o napięciu trwałej pracy DC wynoszącym 950 V.

## WNIOSKI

Szybko rosnący udział wrażliwych elementów elektronicznych w obiektach energetycznych zwiększa ryzyko uszkodzenia i awarii w wyniku przepięć spowodowanych m.in. wyładowaniami atmosferycznymi. To zagrożenie dotyczy także magazynów energii. Tylko dzięki kompleksowemu podejściu do zagadnienia ochrony oraz stosowaniu strefowej koncepcji ochrony odgromowej można zagwarantować stałą funkcjonalność oraz uniknąć niepotrzebnych przerw na prace naprawcze oraz kosztów związanych z wymianą uszkodzonych elementów.

## LITERATURA

- [1] Kerschensteiner T. 2019. Batteriespeicher sicher betreiben – Energy 4.0. *Energietechnik Digital*, 2.
- [2] Lightning and surge protection for battery storage systems – druk WPX047-2019 firmy DEHN.
- [3] Poradnik ochrony odgromowej. 2019. Publikacja firmy DEHN, Warszawa.