

## ROZLEGŁE SYSTEMY UZIEMIENI W OCHRONIE ODGROMOWEJ

Stanisław WOJTAS

Politechnika Gdańska  
tel: 583471820

fax: 583472136

e-mail: s.wojtas@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie:** W artykule zostały omówione procedury i wymagania stawiane systemom uziemień przez przepisy normalizacyjne z punktu widzenia ich skuteczności w systemie ochrony odgromowej. Podstawą tak sformułowanej oceny są pomiary z zastosowaniem metody udarowej. Metoda taka okazuje się bardzo przydatna zwłaszcza w przypadku uziemień rozległych, jakie pojawiają się we współczesnych obiektach wskutek połączenia różnych elementów uzimających za pomocą wspólnej szyny wyrównania potencjałów. Analizowana metoda pozwala nie tylko na pomiar impedancji wypadkowej systemu uziemień, ale także na ocenę stanu połączeń poszczególnych elementów tego systemu.

**Słowa kluczowe:** ochrona odgromowa, pomiary uziemień, impedancja uzimienia.

### 1. WSTĘP

Prawidłowo wykonywane pomiary parametrów uzimień, a także właściwa interpretacja uzyskanych wyników, są niezwykle istotnymi elementami zapewnienia bezpieczeństwa obsługi oraz poprawnej pracy urządzeń elektrycznych i elektronicznych we wszelkich obiektach wyposażonych w uzimienia ochronne i robocze, bądź też narażonych na działanie wyładowań atmosferycznych. Metody właściwej oceny uzimień odgromowych powinny być przedmiotem wytycznych normalizacyjnych. Jednak procedury takiej oceny w aktualnych normach są formułowane dość niejednoznacznie i wymagają od użytkownika sporej dozy samodzielnej interpretacji zarówno na etapie projektowania jak również testów eksploatacyjnych oraz opracowywania wyników pomiarów.

Pomimo, że uzimienia wyraźnie dzielą się na dwie kategorie: pracujące przy częstotliwościach sieciowych oraz odgromowe, pomiary rezystancji obu typów uzimień wykonuje się najczęściej przy prądach niskiej częstotliwości, a więc metodami określanymi jako statyczne. Rezystancja uzimienia zmierzona w takich warunkach może być miarą przydatności uzimienia tylko w zakresie częstotliwości sieciowych, a nie w dziedzinie szybkich udarów prądowych, charakterystycznych dla wyładowań atmosferycznych. Ocena zdolności ochronnej uzimienia powinna uwzględniać jego właściwości przy przebiegach o parametrach czasowych podobnych do tych, jakie panują podczas rzeczywistego wyładowania.

Celem pracy jest analiza procedur oceny i wymagań stawianych układom uzimającym przez aktualne przepisy normalizacyjne. Przedmiotem zainteresowania są zwłaszcza

obiekty wyposażone w główną szynę wyrównania potencjałów, która utrudnia lub uniemożliwia rozłączanie systemów uzimających poszczególnych mediów w celu przeprowadzenia indywidualnych testów. W takim przypadku uzyskiwane metodą niskoczęstotliwościową bardzo niskie wartości rezystancji uwzględniają bardzo odległe elementy, które nie odprowadzają do ziemi prądów wyładowań atmosferycznych. Ponieważ normy sugerują ocenę parametrów uzimień zarówno w oparciu o klasyczną metodę niskoczęstotliwościową, jak również o metody: udarową i wysokoczęstotliwościową, powstaje pytanie którą z nich wybrać do oceny uzimień o różnej konfiguracji i przeznaczeniu. W pracy przedstawiono propozycję wyboru czasu czuła udarów do pomiaru uzimień.

### 2. WYMAGANIA NORMALIZACYJNE

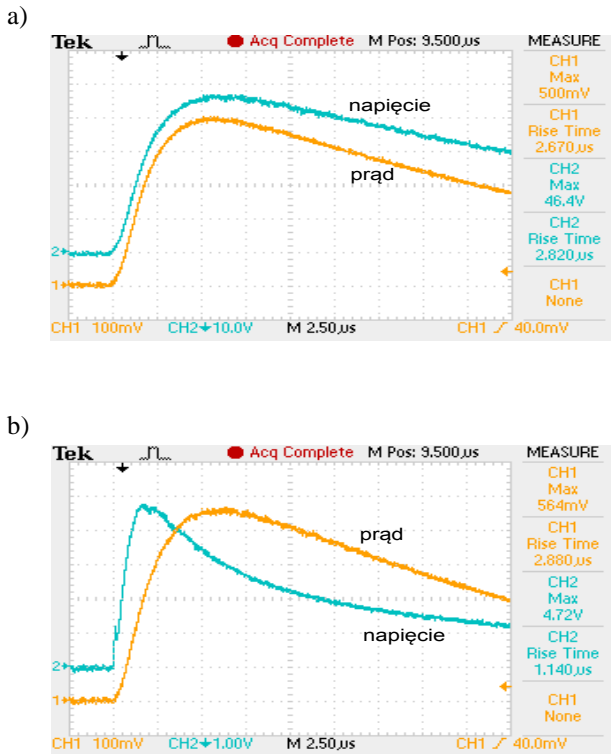
Według PN-E 05003.01:1986 (p.1.3.16.) rezystancja uzimienia jest to: „*rezystancja statyczna między uzimem a ziemią odniesienia zmierzona przy przepływie prądu przemiennego o częstotliwości technicznej*”. Rezystancja statyczna dopuszczalna jest przez normę jako miara przydatności uzimienia dla obiektów objętych podstawową ochroną odgromową [1].

Kryterium przydatności uzimienia w obiektach podlegających ochronie obostrzonej i specjalnej stanowi wg PN-E 05003.03:1989 (p.1.3.7) rezystancja udarowa określana jako: „*rezystancja między uzimem a ziemią odniesienia mierzona przy prądzie udarowym o kształcie odwzorowującym prąd pioruna*”. Norma ta określa również sprzęt potrzebny do wyznaczenia tej rezystancji jako mostek (miernik) udarowy czyli: „*urządzenie pomiarowe umożliwiające pomiar rezystancji tylko tej części uzimienia, która bierze udział w odprowadzaniu prądu pioruna*”. Pomiar rezystancji udarowej wykonuje się bez rozłączania zacisków probierczych ponieważ celem tego pomiaru jest określenie rezystancji wypadkowej uzimienia, czyli tej, która bierze udział w odprowadzaniu z danego punktu prądu piorunowego do gruntu [2;3].

Przepisy PN-IEC 61024-1 definiują „zastępczą rezystancję uzimienia” jako: „*stosunek wartości szczytowych napięcia do prądu uzimienia, które na ogół nie występują jednocześnie. Umownie służy on za wskaźnik skuteczności uzimienia*” [4]. Określenie powyższe jest zgodne z definicją rezystancji (impedancji) udarowej wyznaczanej przy wymu-

szczeniu prądowymi udarami pomiarowymi jak to zostało pokazane na rysunku 1.

Przyjęta w 2009 roku norma PN-EN 62305-1:2008 dotycząca ochrony odgromowej wprowadza pojęcie „umownej impedancji uziemienia” określonej jako „stosunek wartości szczytowej napięcia na uziomie do wartości przepływającego w nim prądu, które na ogół nie występują jednocześnie” [5].



Rys. 1. Oscylogramy prądu i spadku napięcia na uziomie skupionym – a) i rozległym – b) generowane miernikiem udarowym uziemień

Impedancję udarową wyznacza się zgodnie z definicją zawartą w normach [2; 4; 5] według zależności:

$$Z_u = \frac{U_{\max}}{I_{\max}} \quad (1)$$

gdzie  $U_{\max}$  oraz  $I_{\max}$  oznaczają odpowiednio amplitudy spadku napięcia na uziomie oraz prądu wymuszającego ten spadek i zostały pokazane na rysunku 1. W przypadku uziomu skupionego np., pionowego o niewielkiej długości można zaobserwować brak przesunięcia czasowego między ekstremami prądu i napięcia (rysunek 1a). Dla bardziej rozległego uziomu spadki indukcyjne powodują przesunięcie między wartościami maksymalnymi obu przebiegów, jak to można zobaczyć na rysunku 1b, a więc impedancja uziemienia jest definiowana umownie w dziedzinie czasu.

W normach dotyczących instalacji powyżej 1 kV [6] oraz koordynacji izolacji [7] zostały wprowadzone w załącznikach uwagi, że w przypadku bardziej rozległych uziemień, zwłaszcza linii przesyłowych, do pomiarów impedancji uziemień należy używać testera pracującego przy wysokiej częstotliwości. Celem wprowadzenia pomiaru przy przebiegach szybkozmiennych jest przede wszystkim uwzględnienie wpływu spadków indukcyjnych na uziomach oraz impedancji falowej przewodów odgromowych na rezultat wypadkowy pomiaru [8].

### 3. CZAS CZOŁA UDARU POMIAROWEGO

Dobór czasu czoła udarów prądowych stosowanych do pomiarów impedancji uziemień nie jest sprawą oczywistą nawet w świetle aktualnych przepisów normalizacyjnych. Norma dotycząca wysokonapięciowej techniki probierczej przewiduje udary prądowe o czasach czoła 1, 4 oraz 8 µs i takie udary są używane w praktyce badawczej [9]. Udary o czasach czoła 4 i 8 µs są sugerowane także przez normę amerykańską do badania stanów przejściowych w uziemieniach [10]. Załączniki o statusie informacyjnym do normy PN-EN 62305 podają parametry prądów udarowych przewidywanych do symulacji skutków oddziaływania wyładowań piorunowych na elementy systemu ochrony odgromowej. W tabelicy 1 zostały zestawione parametry probierczych udarów krótkotrwałych sugerowane przez tę normę. Należy zwrócić uwagę, że proponowane czasy czoła udarów symulujących pierwszy i następne prądy krótkotrwałe należą do skrajnych w zakresie udarów piorunowych – 0,25 lub 10 µs. W tej sytuacji pojawia się pytanie o czas czoła udaru jaki powinien być wybrany do oceny uziemień realizowanej metodą udarową.

Tabela 1. Parametry probiercze udarów krótkotrwałych [5]

Parametry probiercze		Poziom ochrony odgromowej		
		I	II	III - IV
Pierwszy udar krótkotrwały	Prąd [kA]	200	150	100
	Czas czoła [µs]	10	10	10
Następne udary krótkotrwałe	Prąd [kA]	50	37,5	25
	Czas czoła [µs]	0,25	0,25	0,25

Rozważania na temat stałej czasowej linii modelującej uziom długi pokazują, że zwiększanie długości uziomu poziomego jest skuteczne tylko do pewnej wartości  $l$ , którą można obliczyć jako [11]:

$$l \leq \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{T}{GL}} \quad (2)$$

gdzie:  $T$  - czas trwania czoła udaru prądowego,  $L$  - indukcyjność jednostkowa i  $G$  - konduktancja jednostkowa uziomu.

Z powyższych określeń wynikają pewne różnice w technice wykonywania pomiarów statycznych i udarowych. Impedancja uziemienia przewodzącego prądy udarowe ma charakter nieliniowy. Jest ona funkcją natężenia oraz stromości narastania prądu, a także długości uziomu. Przy odprowadzaniu do gruntu prądu o dużym natężeniu występuje pewien spadek wartości rezystancji uziemienia w stosunku do rezystancji wyznaczonej przy niewielkich prądach pomiarowych stosowanych w miernikach. Jest to wywołane zmianą rezystywności gruntu tuż przy powierzchni uziomu na skutek występowania zjawisk wieloprądowych.

Ponieważ prądy piorunowe cechuje znaczna stromość narastania (rzędu 100 kA/µs), o skuteczności uziemienia decydują często indukcyjne spadki napięcia na poszczególnych elementach systemu uziemień. Impedancja uziemienia przewodzącego prądy udarowe jest funkcją stromości narastania prądu i jego natężenia, ale także długości uziomu. Wpływ długości na parametry udarowe uziemienia ilustruje rysunek 1, na którym porównano przebiegi udarowe na

uziemienu rozległym i skupionym przy założeniu wartości prądu poniżej zjawisk jonizacji w gruncie. Miarą tego wpływu jest przesunięcie czasowe między szczytami prądu i wywołanego przezeń spadku napięcia. Spotykane czasem łączenie uziomu odgromowego z rozległym uziemem roboczym lub z siecią wodociągową umożliwia uzyskanie bardzo niskiej wartości rezystancji uziomu mierzonej metodą niskoczęstotliwościową. Impedancja udarowa takiego uziemienia może jednak być wielokrotnie wyższa, co prowadzi do zagrożeń chronionego obiektu podczas wyładowania atmosferycznego.

Problem ten został częściowo uwzględniony w przepisach normalizacyjnych, które dopuszczają określenie przydatności uziemienia dla celów ochrony obostrzonej i specjalnej na podstawie pomiarów ich rezystancji metodami statycznymi (niskoczęstotliwościowymi) jedynie pod następującymi warunkami:

- dla ochrony obostrzonej należy odłączyć od mierzzonego uziomu wszystkie przyłączone do niego masy metalowe (p. 6.1.4.c) [2]

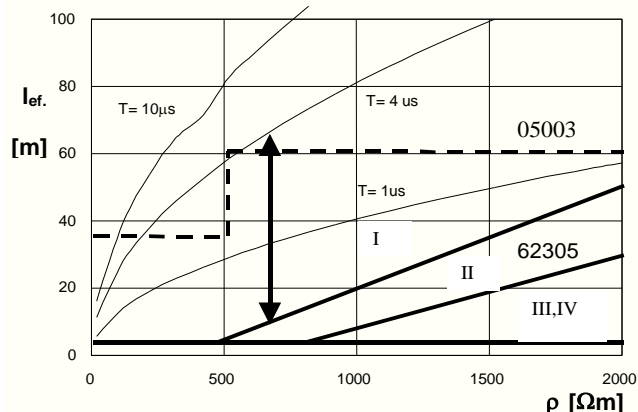
- dla ochrony specjalnej należy odłączyć uziomy położone dalej od rozpatrywanego zwołu niż 35 m w gruncie o rezystywności  $\rho \leq 500 \Omega\text{m}$  i 60 m w gruncie o rezystywności  $\rho > 500 \Omega\text{m}$  (p. 4.1.3.2) [3]. Wykonanie pomiarów metodami statycznymi zgodnie z powyższymi wymaganiami jest często bardzo trudne lub wręcz niemożliwe.

Długość uziomu obliczona z wyrażenia (2) jest często nazywana długością efektywną uziomu, a jej wartość zależy przede wszystkim od rezystywności gruntu otaczającego analizowany uziom oraz stromości czoła odprowadzanego do ziemi udaru. Na rysunku 2 zamieszczono krzywe przedstawiające długość efektywną uziomu w funkcji rezystywności gruntu dla udarów o czasach czoła 1, 4 oraz 10  $\mu\text{s}$ . Linia przerywana zaznaczono maksymalną długość uziomu dopuszczalną przez normy PN-E 05003 [2; 3], a liniami ciągłymi - minimalne długości uziomu sugerowane przez normę PN-EN 62305 dla następujących poziomów ochrony: I, II oraz III - IV [5].

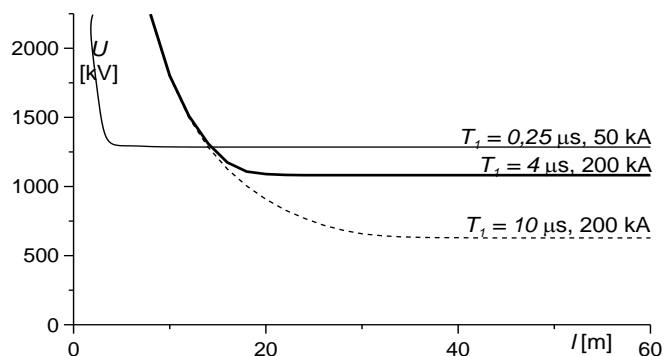
Wpływ indukcyjności uziomu zależy od jego geometrii jest uwzględniony poprzez badania metodami udarowymi. Wyniki pomiarów udarowych są miarodajne dla określenia jakości uziemień obiektów podlegających ochronie odgromowej. Krzywa długości efektywnej dla udarów o czasie czoła 4  $\mu\text{s}$  jest położona w bezpośrednim sąsiedztwie zaznaczonych liniami przerywanymi maksymalnych dopuszczalnych długości uziemień dla ochrony obostrzonej oraz specjalnej i może być uznana jako dość dobrze przybliżająca intencje wyrażone w omawianej normie [3]. Wobec tego należy przyjąć, że użyteczny zakres długości uziomu przy danej rezystywności gruntu ograniczony pomiarami z wykorzystaniem udarów o czasie czoła 4  $\mu\text{s}$  wskazuje strzałka na rysunku 2.

Porównując parametry prądów zestawionych w tabeli 1 można zauważyć, że np. dla pierwszego poziomu ochrony przewidziano prąd 200 kA o czasie czoła 10  $\mu\text{s}$  oraz prąd 50 kA ze znacznie krótszym czołem równym 0,25  $\mu\text{s}$ . Analizę spadków napięcia wywołanych przez oba udary prądowe na uziemieniu przeprowadzono w oparciu o symulację komputerową w programie PSpice. Symulacja została przeprowadzona dla uziomu poziomego pogrążonego w gruncie o rezystywności 100  $\Omega\text{m}$ , którego długość była zmieniana w granicach od 2 do 60 m. Wykresy pokazane na rysunku 5 przedstawiają spadki napięcia w funkcji długości uziomu dla prądów i czasów czoła przewidzianych dla pierwszego poziomu ochrony, czyli: 50 kA i 0,25  $\mu\text{s}$  oraz 200 kA i 10  $\mu\text{s}$ .

Analizując oba przebiegi oznaczone jako 1) i 2) można zauważyć, że przy krótszym czasie czoła otrzymano ponad 2-krotnie większy spadek napięcia na uziemieniu, mimo mniejszej amplitudy prądu. W celu porównania na rysunku 5 zamieszczono wykres uzyskany dla prądu 200 kA i czasu czoła 4  $\mu\text{s}$  oznaczony jako 3), który leży zaledwie 20 % poniżej najbardziej niekorzystnego dla systemu ochrony przebiegu 1).



Rys. 2. Wpływ rezystywności gruntu na długość efektywną uziomu przy czasach czoła udaru 1, 4 oraz 10  $\mu\text{s}$ ; linią ciągłą zaznaczono minimalną długość uziomu wg normy [5] dla poziomów ochrony I, II oraz II-IV, a przerywaną - maksymalną wg normy [3], strzałka oznacza propozycję użyteczno zakres długości uziomu dla danej rezystywności gruntu



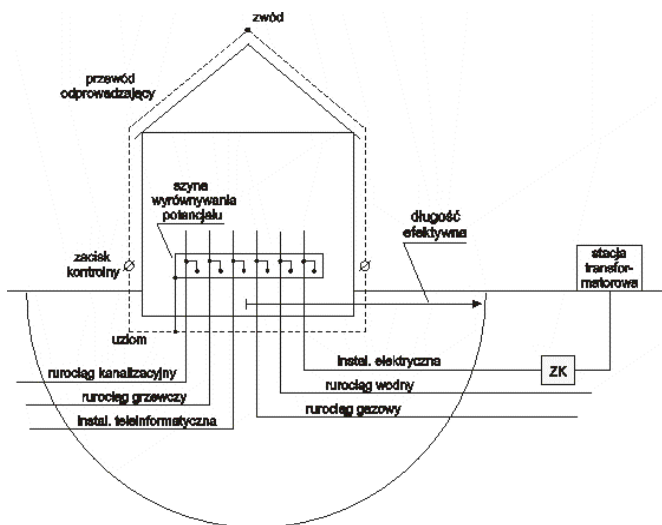
Rys. 3. Symulacje komputerowe spadku napięcia na uziemiu poziomym w funkcji jego długości dla udarów prądowych przewidzianych normie [5]

Uzyskanie czasu czoła udaru testującego na poziomie 0,25  $\mu\text{s}$  byłoby bardzo trudne w praktyce pomiarowej. W świetle wyżej opisanej sytuacji ocena impedancji uziemienia oraz spadków napięć może odbywać się według następującej procedury: amplituda prądu powinna być równa prądowi o czasie czoła 10  $\mu\text{s}$  sugerowanej przez normy [4; 5] dla poszczególnych poziomów ochrony, a czas czoła udaru równy 4  $\mu\text{s}$  przewidziany przepisach normalizacyjnych dotyczących techniki badań wysokonapięciowych [9]. Podobny zakres długości czasu czoła jest przypisana do większości głównych wyładowań atmosferycznych na podstawie wieloletnich rejestracji [11].

#### 4. ROZLEGŁE UZIEMIENIA OBIEKTÓW KUBATUROWYCH

Współczesne obiekty podlegające ochronie odgromowej są wyposażone w główną szynę wyrównania potencjałów, do której są dołączone elementy uziemiające poszczególne

gólnych mediów zasilających dany obiekt jak to zostało przedstawione na rysunku 4. W przypadku zastosowania do pomiaru rezystancji uziemienia miernika niskiej częstotliwości, na uzyskaną wartość rezystancji mają wpływ uziomy położone nawet w znacznej odległości od badanego obiektu, np. system uziemień transformatora zasilającego. Pomierzona w ten sposób rezystancja wypadkowa uziemienia osiąga zwykle bardzo małe wartości, często znacznie poniżej  $1 \Omega$ . Taka ocena systemu uziemień może być miarodajna dla prądów zwarciovych, ale w przypadku wyładowań atmosferycznych należy oczekiwać znacznie wyższej impedancji. W rozpraszaniu prądu o czasie czoła na poziomie mikrosekund, czyli zbliżonym do prądów piorunowych, biorą udział elementy uziomu oddalone od miejsca wyładowania poniżej długości efektywnej uziomu, jak to zostało zaznaczone na rysunku 4. Pojęcie długości efektywnej uziomu zostało omówione w poprzednim rozdziale.

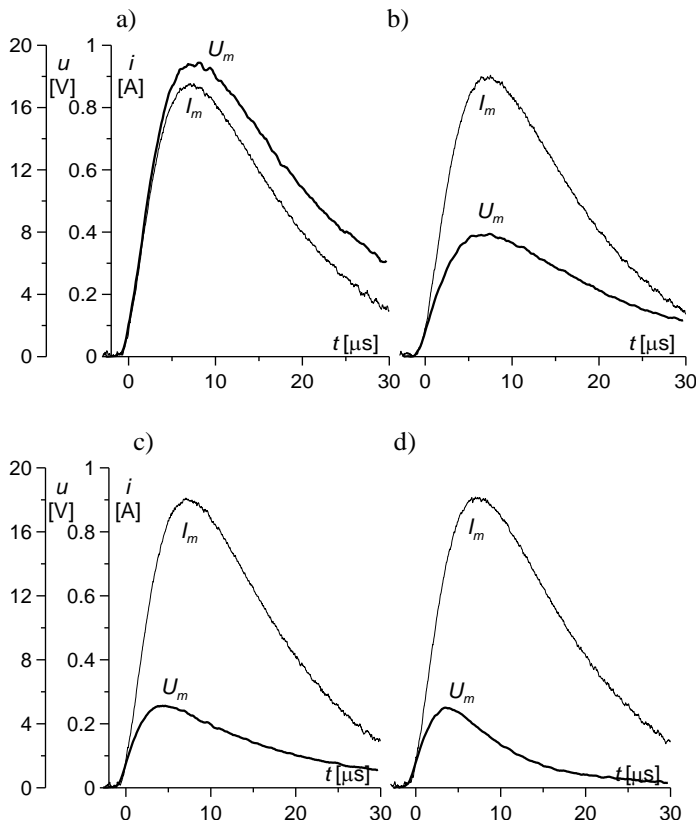


Rys.4. Przykład obiektu z rozległym systemem uziemień wnoszonym przez media dołączone do szyny wyrównywania potencjału, zaznaczono półokrąg o promieniu równym długości efektywnej uziomu [12]

Potwierdzeniem tych spostrzeżeń są wyniki rejestracji prądu i napięcia na początku uziomu poziomego o długości 50 m złożonego z łączonych szeregowo odcinków po 5 m przedstawione na rysunku 5. Badany uziom był zagłębiony w gruncie o rezystywności  $85 \Omega\text{m}$  i dla impulsów o czasie czoła  $4 \mu\text{s}$  jego długość efektywna wynosiła ok. 20 m. Ponieważ impulsy prądowe miały stałą amplitudę (ok.  $0,9 \text{ A}$ ), wartość maksymalna napięcia może być traktowana jako wskaźnik impedancji udarowej uziomu. Przyrost długości uziomu o 10 m w zakresie poniżej długości efektywnej wywołuje zdecydowany (w tym przypadku ok. 2-krotny) spadek napięcia, a więc także impedancji uziomu - przebiegi a i b na rysunku 5. Taki sam 10-metrowy przyrost długości uziomu poza jego długością efektywną nie wpływa na jego impedancję udarową - taka sama amplituda napięcia na oscylogramach c i d. Efekt odprowadzania pewnej wartości ładunku przez dodaną długość można zauważyć dopiero na grzbiecie przebiegu napięciowego, co nie ma wpływu na impedancję udarową uziomu.

Rozważania o braku wpływu dalej położonych elementów uziemień na ich przydatność odgromową zostały potwierdzone pomiarami porównawczymi rezystancji przy niskiej częstotliwości oraz za pomocą mierników udarowych przeprowadzonymi na gdańskim stadionie PGE ARENA. Nadziemna część urządzenia piorunochronnego zewnętrzne-

go stadionu widoczna na rysunku 6 składa się ze zwodów poziomych w postaci przewodów (1) zamykających pozbawiony zadania fragment stadionu oraz z łukowatych dźwigarów zadania trybun (2). Dźwigary zadania pełniące jednocześnie rolę zwodów i przewodów odprowadzających są osadzone na fundamentach stadionu za pomocą ruchomych przegubów, które są bocznikowane przewodami zapewniającymi przepływ prądów piorunowych pokazanymi na rysunku 6b. Zbrojenie fundamentu stadionu jest połączone uziomami sztucznymi poszczególnych mediów i w ten sposób powstaje bardzo rozległy system.

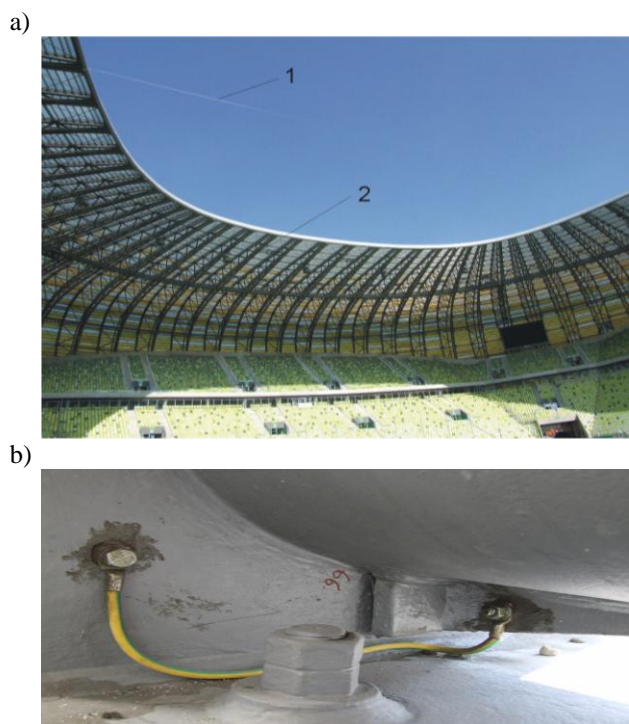


Rys. 5. Wpływ przyrostu długości l uziomu poziomego o 10 m w zakresie poniżej długości efektywnej (a - 5 m, b - 15 m) oraz powyżej tej długości (c - 20 m, d - 30 m) na przebiegi napięcia na początku uziomu przy zasilaniu stałą wartością impulsu prądowego o czasie czoła  $4 \mu\text{s}$

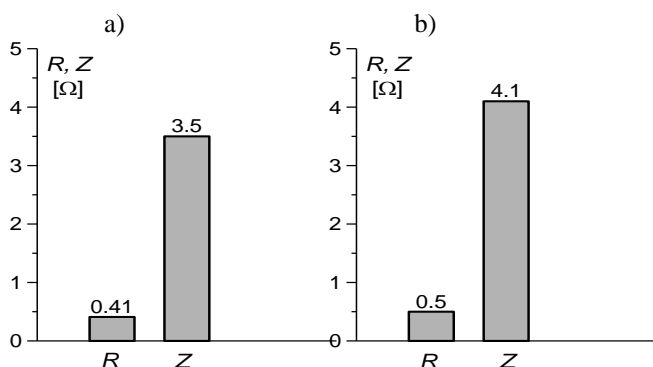
Na rysunku 7a przedstawiono rezultaty rezystancji niskoczęstotliwościowej oraz impedancji udarowej systemu uziemień stadionu. Pokazany histogram wskazuje, że tak rozbudowany system charakteryzuje się bardzo małą rezystancją statyczną -  $0,41 \Omega$ , a impedancja udarowa jest ponad 8 razy wyższa i wynosi  $3,5 \Omega$ . Podobne wyniki zaprezentowane na rysunku 7b uzyskano dla budynku mieszkalnego o 3 kondygnacjach i długości ok. 30 m. System uziemień budynku jest zaopatrzone w szynę wyrównywania potencjałów i zbliżony do zaprezentowanego na rysunku 4. Taki przypadek charakteryzuje się również bardzo małą rezystancją o wartości  $0,5 \Omega$ , a impedancja w warunkach udarowych jest ponad 8 razy wyższa i wynosi  $4,1 \Omega$ . Różnica ta wynika przede wszystkim z faktu, że na rezystancję statyczną wpływa cały system uziemień, a miernik udarowym uwzględnia wyłącznie elementy uziemiające znajdujące się w odległości mniejszej niż długość efektywna określona czasem czoła udaru i rezystywnością gruntu (2).

Impedancja udarowa pozwala więc na lepszą ocenę zachowania się rozległego systemu uziemień podczas prze-

plywu prądu piorunowego, co zostało potwierdzone pomiarami uziemień w tak nietypowym przypadku jakim jest stadion sportowy, jak również pomiarami współczesnego budynku mieszkalnego z układem wyrównania potencjałów łączącym elementy uziemień mediów wchodzących do budynku.



Rys. 6. Elementy systemu ochrony odgromowej stadionu: a - zwody w postaci przewodów (1) oraz dźwigarów zadaszenia trybun (2), b - przewód bocznikujący przegub między konstrukcją wsporczą i fundamentem [fot. D. Kowalak]



Rys. 7. Wartości rezystancji oraz impedancji udarowej systemu ochrony odgromowej stadionu - a) i budynku mieszkalnego o 3 kondygnacjach z mediami dołączonymi do szyny ekwipotencjalnej - b)

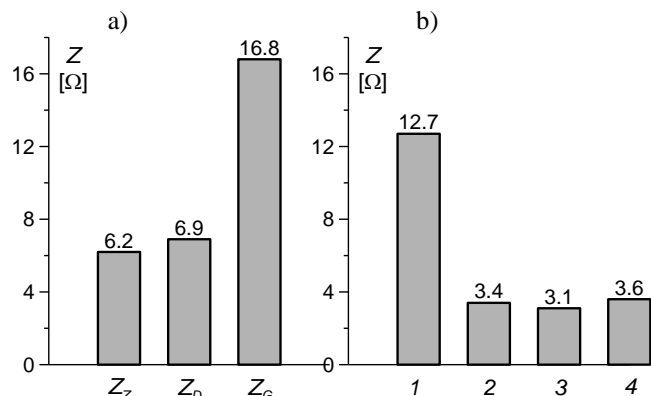
W tej sytuacji nie powinien dziwić fakt, że w literaturze pojawiają się stwierdzenia o braku konieczności mierzenia rezystancji statycznej podczas sprawdzania stanu technicznego urządzenia piorunochronnego [13]. Mała wartość rezystancji uziemia nie musi świadczyć o jego dobrym stanie, podobnie jak wysoki wynik rezystancji nie musi dyskwalifikować przydatności uziomu w systemie ochrony odgromowej. Dla wydania ostatecznej oceny konieczna jest znajomość konfiguracji sieci uziemiającej i weryfikacja połączeń zapewniających ciągłość przewodu uziemiającego oraz połączeń przewodów odprowadzających z uziomem. W wielu przypadkach nieodzownym warunkiem oceny uziemień

może być ich odkopanie, a to często okazuje się niewykonalne i wtedy metoda udarowa stanowi rozsądną alternatywę.

Metoda udarowa pomiaru impedancji uziemień może być stosowana także do oceny ciągłości uziemień w dowolnych obiektach, w tym również w obiektach podlegających ochronie obostrzonej [2]. W takich przypadkach ze względów bezpieczeństwa przewody odprowadzające są często wyposażone w połączenia spawane, które uniemożliwiają ich rozłączanie podczas pomiarów.

Przydatność udarowego miernika uziemień do oceny ciągłości połączeń uziemień przetestowano na przykładzie 1-klatkowego budynku mieszkalnego o 8 kondygnacjach. Instalacja odgromowa budynku zawiera 6 przewodów odprowadzających, z których każdy na wysokości ok. 1 m nad ziemią był zaopatrzony w zacisk kontrolny umożliwiający rozłączanie przewodu. Wykonano następujące pomiary rezystancji udarowej uziemia, których wyniki przedstawiono na rysunku 8a:

1.  $Z_Z$  – zwarty zacisk kontrolny,
2.  $Z_D$  – miernik dołączony do przewodu poniżej rozwartego zacisku kontrolnego,
3.  $Z_G$  – miernik dołączony do przewodu powyżej rozwartego zacisku kontrolnego



Rys. 8. Wartości rezystancji oraz impedancji udarowej systemu ochrony odgromowej a) budynku mieszkalnego uzyskane dla poszczególnych przewodów odprowadzających przy: 1- zwartym zacisku kontrolnym -  $Z_Z$ , 2- rozwartym zacisku kontrolnym i mierniku dołączonym poniżej zacisku -  $Z_D$  oraz 3 - powyżej zacisku -  $Z_G$ , b) obiektu budowlanego o 4 przewodach odprowadzających

Z rysunku 8a wynika, że przy zwartym zacisku kontrolnym ( $Z_Z$ ) otrzymuje się wartości obniżone o ok. 10% w stosunku do zacisku rozwartego ( $Z_D$ ). Przy obiektach niższych różnice te mogą być nieco większe ze względu na mniejszą indukcyjność przewodów bocznikujących mierzone połączenie z uziomem. Wyniki umieszczone na histogramie oznaczonym jako  $Z_G$  odpowiadają sytuacji, w której mierzony przewód uziemiający jest przerwany poniżej powierzchni gruntu. Analiza pomiarów wszystkich przewodów odprowadzających obiektu wykonanych bez ich odpinania pozwoli na szybkie wykrycie przewodu nie mającego galvanicznego połączenia z otokiem uziemia, ponieważ uzyskany w tym przypadku wynik będzie znacznie przewyższał (w przypadku analizowanego budynku około dwukrotnie) poziom wyników uzyskanych dla pozostałych przewodów. Wzrost wartości impedancji w przypadku oznaczonym jako  $Z_G$  wynika z tego, że przepływ prądu odbywa się poprzez przewody odprowadzające i zwody na dachu budynku a wynikające stąd indukcyjne spadki napięcia zwiększają potencjał na uziomie.

Spostrzeżenia wynikające z rezultatów testu pokazanego na rysunku 8a zostały zweryfikowane pomiarami impedancji udarowej uziemienia urządzenia piorunochronnego obiektu budowlanego o 4 przewodach odprowadzających, a wyniki zostały przedstawione na rysunku 8b. Pomiary przeprowadzone przy zwartych zaciskach kontrolnych przewodów odprowadzających wskazują, że dla przewodu oznaczonego jako 1 impedancja udarowa przekracza prawie 4-krotnie wyniki uzyskane dla pozostałych przewodów. Po odkopaniu fragmentu uziomu okazało się, że miejsce styku tego przewodu z uziomem było skorodowane, co skutkowało brakiem połączenia galwanicznego. Należy podkreślić, że wspomniana usterka systemu uziemień została stwierdzona na podstawie pomiarów metodą udarową bez rozłączania zacisków kontrolnych urządzenia.

## 5. WNIOSKI

Metoda udarowa pozwala na określenie impedancji uziemienia, która jest miarą jego przydatności do celów ochrony odgromowej. Przydatność takiej metody jest ważna przede wszystkim w przypadku rozległych systemów uziemień, a zwłaszcza przy połączeniu elementów uziemiających mediów z szyną wyrównania potencjału. Wtedy są uwzględniane tylko te części systemu instalacyjnego, które biorą udział w odprowadzaniu prądu piorunowego do ziemi, czyli ich długości efektywne.

Na podstawie przeprowadzonej analizy czas czoła udaru pomiarowego o czasie 4  $\mu$ s należy uznać jako najbardziej uniwersalny oraz przydatny w testach uziemień.

Wprowadzane aktualnie przepisy normalizacyjne dotyczące ochrony odgromowej wprowadzają w niektórych fragmentach wymaganie, aby w pomiarach rezystancji uziemień prowadzonych metodą niskoczęstotliwościową uwzględniać ich ograniczoną długość, co nawet może sprowadzać się do konieczności odkrywania uziomów podczas procedury weryfikacyjnej.

Metody udarowe i wysokoczęstotliwościowe pozwalają oceniać przydatność uziemień do celów ochrony odgromowej bez wspomnianych czasochłonnych zabiegów, a nawet bez rozłączania zacisków kontrolnych. W wyniku takich

pomiarów istnieje także możliwość weryfikacji połączeń przewodów uziemiających z uziomem.

## BIBLIOGRAFIA

1. PN-E 05003-1:1986 - Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Wymagania ogólne.
2. PN-E 05003-3:1989 - Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Ochrona obostrzona.
3. PN-E 05003-4:1992 - Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Ochrona specjalna.
4. PN-IEC 61024-1-1:2001 - Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne. Wybór poziomów ochrony dla urządzeń piorunochronnych.
5. PN-EN 62305-1:2008 - Ochrona odgromowa. Część 1: Zasady ogólne.
6. PN-E 05115:2002 - Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
7. PN-EN 60071-2:2000 - Koordynacja izolacji. Przewodnik stosowania.
8. Wołoszyk M., „Pomiary impedancji (rezystancji) udarowej uziemień odgromowych”, Rozdział w publikacji: Gryżewski Z.: Prace pomiarowo – kontrolne przy urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu do 1 kV, COSiW SEP, Warszawa, 2002.
9. PN-E 04060:1992 - Wysokonapięciowa technika probiercza. Ogólne określenia i wymagania probiercze.
10. ANSI/IEEE Std 81-1983 - IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground System.
11. Szpor S., Samuła J.: Ochrona Odgromowa, WN-T, Warszawa, 1983.
12. Wojtas S., Wołoszyk M.: Ocena uziemień odgromowych według aktualnych przepisów normalizacyjnych, VI Krajowa Konferencja N-T "Urządzenia Piorunochronne w Projektowaniu i Budowie, SEP Kraków, 20.10.2011
13. Musiał E.: Kontrola stanu technicznego urządzeń ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej, Biul. SEP INPE, 2008, Nr 100, s. 18-36

## WIDE EARTHINGS IN LIGHTNING PROTECTION SYSTEMS

**Key-words:** lightning protection, earthing tests

**Summary:** The paper deals with procedures and requirements up to standards for earthings from the point of view of their effectiveness in lightning protection systems. Impulse measurements of earthings prove to be a base of such evaluations. The impulse method is especially useful in the case of very wide earthings. Such earthing systems are created in modern structures due to equipotential bars connecting all earthing elements entering the structure. The presented method makes earthing impedance measurements possible as well as quality evaluation of earthing element connections.