

*Centrum Ochrony
przed Przepięciami i Zakłóceniami Elektromagnetycznymi
w Białymstoku*



Czynniki wpływające na trwałość i warunki eksploatacji układów uziomów stacji elektroenergetycznych SN/nn

Opracowanie:

dr inż. Mirosław Zielenkiewicz

RST Sp. z o.o.

15-620 BIAŁYSTOK
ul. Elewatorska 17/1

tel.: 792 350 100

www.rst.bialystok.pl

e-mail: rst@rst.bialystok.pl



Białystok, maj 2017 r.

1. Wstęp

Brak zasilania po stronie odbiorców energii elektrycznej stanowi najczęściej istotne utrudnienie związane z brakiem możliwości realizacji założonych przez nich celów gospodarczych lub socjalnych. Istotny udział w kształtowaniu skali tego problemu mają stacje energetyczne SN/nn, które są ostatnim ogniwem w łańcuchu przesyłowym energii elektrycznej z elektrowni do klienta. I tak, dla przykładu, w najbardziej złożonym systemie elektroenergetycznym Warszawy pracuje prawie 5500 stacji 15/0,4 kV, co z uwagi na skalę ma poważne znaczenie w kształtowaniu wskaźników niezawodnościowych przesyłu energii do odbiorców.

Niezawodność stacji energetycznych SN zależy od wielu czynników. Wieloletnie analizy [[1],[2]] pokazują, że w stacjach SN/nn największa liczba awarii związana jest z uszkodzeniem transformatorów, układów elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej i sterowniczej, odgromników, głowic kablowych, izolatorów oraz odłączników. W odniesieniu do izolatorów, głowic kablowych, odgromników oraz odłączników stwierdza się [[2]], że znaczna ilościowo liczba awarii wynika przede wszystkim z dużej liczebności tych urządzeń w stacjach SN. Odnosząc liczbę awarii danej grupy urządzeń do ich liczby w stacjach SN za stosunkowo najbardziej awaryjne urządzenia uznano: układy elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej i sterowniczej (4,28 % całkowitej zainstalowanej liczby na rok), przekładniki prądowe (2,44 % całkowitej zainstalowanej liczby na rok), przekładniki napięciowe (1,93 % całkowitej zainstalowanej liczby na rok), wyłączniki (0,86 % całkowitej zainstalowanej liczby na rok) oraz transformatory (0,65 % całkowitej zainstalowanej liczby na rok).

Interesujące są również liczby dotyczące ogólnego poziomu zawodności stacji SN/nn. Podczas 10 lat obserwacji stacji wewnątrzowych i stacji słupowych w łącznej liczbie od 8500 w pierwszym roku do 9638 w roku ostatnim wystąpiło łącznie 3363 awarii na terenie dwóch dużych zakładów energetycznych. Oznacza to w przybliżeniu wystąpienie awarii średnio w co 25 stacji w pierwszym roku obserwacji i w co 28 stacji w roku ostatnim. Na podstawie analizy przedstawionych przyczyn i skutków awarii wydaje się bardzo prawdopodobnym, że znacznej ich części można było uniknąć lub zminimalizować ich następstwa przy odpowiednio dobranych parametrach układu uziomów i właściwym jego utrzymywaniu. Mając na uwadze bezpośrednią zależność wartości napięć, jakie są wyznoszone na uszkodzone urządzenia z układu uziomów podczas przepływu przez niego prądu zwarciovego bądź piorunowego, od wartości lokalnej wartości rezystancji uziemienia warto zastanowić się, czy zbyt wysoka impedancja (najczęściej określana jako rezystancja) układów uziomów stacji SN/nn nie ma znacznego wkładu w skalę prezentowanych uszkodzeń.

2. Analiza opublikowanych wyników obserwacji wskaźników niezawodnościowych układów uziomów stacji SN/nn

Podobne, długotrwałe 10-letnie obserwacje stacji SN/nn na terenie Polski prowadzono [[3]] w odniesieniu do awarii ich układów uziomów, przy czym w pierwszym roku obserwacji w analizowanej sieci elektroenergetycznej było analizie poddano 2161 układów uziomów w stacjach wewnątrzowych oraz 9385 w stacjach napowietrznych, a w ostatnim roku obserwacji – odpowiednio: 2416 i 9864. W

okresie prowadzenia badań stwierdzono wystąpienie 30 awarii układów uziomów w stacjach wewnątrzowych i 26 awarii w stacjach napowietrznych.

Ta stosunkowo nieduża liczba stwierdzonych uszkodzeń układów uziomowych stacji SN/nn wynika być może ze specyfiki przyjętej metodyki zbierania danych, która prawdopodobnie opierała się na raportach ekip usuwających skutki awarii w tych stacjach. Z uwagi na umiejscowienie układów uziomów w gruncie i związane z tym oczywiste problemy z obserwacją ich kondycji wydaje się trudne w praktyce, a często wręcz niemożliwe, stwierdzenie faktycznego stanu uziomu podczas usuwania skutków awarii stacji. W takich sytuacjach analiza ograniczona jest zazwyczaj jedynie do nadziemnych elementów uziomu: przewodów uziemiających i zacisków uziomowych probierczych, jak również, ewentualnie, do przewodów uziomowych wyrwanych z gruntu na przykład podczas prac rolnych prowadzonych blisko stacji. Nie ma praktycznej możliwości ustalenia drogą wizualną stanu tych elementów uziomów, które są zakopane w gruncie, a szczególnie tych pograżonych pionowo na znacznej głębokości, bez wykonania stosownych pomiarów. Wykonuje się je jednak w takich przypadkach zbyt rzadko.

Wśród najczęstszych przyczyn uszkodzeń układu uziomów stacji SN/nn w omawianych badaniach wymienia się m.in. oddziaływanie wyładowań atmosferycznych oraz zwarć doziemnych, w rezultacie czego obserwowane jest upalenie zacisków uziomowych probierczych. Procentowy udział skutku awarii objawiającego się w postaci upalenia zacisku probierczego w ogólnej liczbie analizowanych awarii wynosił w danym przypadku około 57 % dla stacji wewnątrzowych i 38,5 % - dla stacji napowietrznych. Wśród innych istotnych skutków awarii układów uziomów stacji SN/nn wymienia się również:

- uszkodzenia mechaniczne (ich procentowy udział to około 13,3 % z liczby wszystkich awarii dla stacji wewnątrzowych i 38,5 % - dla stacji napowietrznych,
- korozję (ich procentowy udział to około 26,7 % z liczby wszystkich awarii dla stacji wewnątrzowych i 19,2 % - dla stacji napowietrznych).

Wydaje się, że dla zrozumienia faktycznych przyczyn i skutków przedstawionych uszkodzeń układów uziomów warto rozważyć jak w rzeczywistości wygląda problem trwałości omawianych układów uziomów stacji SN/nn.

2.1. Przyczyny upalenia zacisków uziomowych probierczych

Jak bowiem można na przykład wytłumaczyć zjawisko upalenia zacisków probierczych na stacji:

- czy zastosowaniem niewłaściwego rozwiązania konstrukcyjnego zacisku, niewytrzymującego spodziewanych wartości prądów zwarciowych lub piorunowych,
- czy zbyt małym przekrojem przewodu uziemiającego i przekroczeniem jego obciążalności prądowej,
- czy też niewidoczną korozją przewodu uziemiającego pod powierzchnią gruntu, gdzie wymagane jest stałe zakrycie przewodu dodatkowym pokryciem antykorozyjnym w miejscu wprowadzenia przewodu do gleby, chroniącej przed wzmożoną w tym miejscu korozją,
- a może po prostu poluzowanym lub skorodowanym zaciskiem ?

Przy prawidłowych założeniach projektowych i odpowiednich zabiegach konserwacyjno-eksploatacyjnych upalenie zacisku uziomowego probierczego nie powinno wystąpić.

2.2. Przyczyny uszkodzeń mechanicznych układu uziomów

Zastanawiające jest stwierdzenie uszkodzeń mechanicznych układów uziomów stacji. Poszukując przyczyn takiego stanu wydaje się, że przyczyn można doszukiwać się w następujących sytuacjach:

- przypadkowego wyrwania z gruntu elementów układu uziomów podczas prac remontowych lub prac rolnych prowadzonych w bezpośredniej bliskości stacji,
- zbyt płytkiego pograżenia elementów układu uziomów w gruncie.

Wymienione sytuacje są wynikiem zwykłego niedbalstwa i można ich uniknąć jedynie zapewniając prawidłowe procedury nadzoru zaczynając od etapu projektowania układu uziomów, poprzez etap jego montażu, a następnie w okresie eksploatacji.

2.3. Przyczyny uszkodzeń mechanicznych układu uziomów w wyniku korozji

Korozja układu uziomów, to zjawisko dobrze rozpoznane, spodziewane i znane wszystkim projektantom, wykonawcom, inspektorom nadzoru i służbom eksploatacyjnym. W związku z tym trudno jest zaliczyć je do kategorii awarii układów uziomów stacji SN/nn, co ma miejsce w analizowanym opracowaniu [[3]].

Być może jest jeszcze rzeczą umowną czy oczywista korozja uziomu wykonanego z powszechnie stosowanej w naszym kraju stali ocynkowanej, po kilkunastu latach od jego ułożenia, to stan oczywisty, spodziewany, czy też jest to awaria. Prawdą jest jednak, że póki co nie spotyka się w instrukcjach i standardach grup energetycznych żadnych odniesień do oczekiwanego okresu trwałości układu uziomów, bo tylko w takim przypadku można by było zaplanować skuteczne środki prewencyjne. Z tego powodu nie wydaje się bezpiecznym stosowanie uziomów o tak krótkim okresie trwałości przy bardzo ograniczonych środkach przeznaczanych na kontrolę ich stanu.

W takich uwarunkowaniach uszkodzenie układu uziomów w wyniku korozji prawdopodobnie najbezpieczniej jest zaliczyć do kategorii awarii. Aktualny stan wiedzy o uziomach skłania jednak do szukania bardziej bezpiecznych rozwiązań projektowych układów uziomów stacji SN/nn, które zapewnią odpowiednio dłuższe okresy ich trwałości, lepiej dostosowane do faktycznych przewidywanych okresów eksploatacji tych obiektów.

Korozja może również wystąpić w wyniku nieprawidłowego doboru obciążalności prądowej stalowych przewodników układu uziomów skutkującej wytopieniem zewnętrznej warstwy ochrony korozyjnej (cynku lub miedzi) po przekroczeniu temperatury ich topnienia. Nie wydaje się jednak, aby można było zaprojektować układ uziomów bez odpowiedniego obliczenia przekroju jego przewodów, tym bardziej, że odpowiednie algorytmy ich doboru, w tym również nie wymagające przeprowadzania obliczeń, można znaleźć w dokumentach normalizacyjnych [[5],[6],[7]].

3. Trwałość układu uziomów stacji SN/nn

W ogólnie akceptowanym stanowisku [[4]] trwałość uziomu odnoszona jest do stopnia skorodowania jego elementów i określana jest jako okres jego

użytkowania od chwili zainstalowania do czasu, gdy z powodu korozji ziemnej metalowych elementów może nastąpić zmniejszenie ich przekroju porzecznego na tyle znacznego, że istnieje duże prawdopodobieństwo ich przerwania. Mając jednak na uwadze zasadnicze przeznaczenie układu uzimów, jakim jest przewodzenie prądów w stanach nienormalnej pracy sieci elektroenergetycznej, takich jak: wyładowania atmosferyczne i awarie urządzeń skutkujące zwarciami doziemnymi, wydaje się, że pojęcie trwałości uzimów warto powiązać z ich zdolnością w całym okresie ich eksploatacji do przewodzenia określonych wartości prądów (zwarciowych i udarowych) przyjętych do obliczeń na etapie projektowania.

Warto również zastanowić się, czy aktualne metody okresowej kontroli stanu uzimów nie stały się zbyt przestarzałe, aby je można było uznać za odpowiednie dla bezpiecznego funkcjonowania stacji SN/nn. Z przeglądu wymagań prawnych, normatywnych i branżowych wynika, że zalecane jest sprawdzanie stanu układów uzimów w cyklu wynoszącym 5 lat, np. zgodnie z wymaganiami Prawa Budowlanego dla uzimów urządzenia piorunochronnego oraz uzemień instalacji i aparatów, czy też zawartymi w instrukcjach ruchu i eksploatacji sieci rozdzielczej.

Mając na uwadze ogromną ilość stacji SN/nn w skali kraju trzeba zadać pytanie, czy okres 5 lat pomiędzy badaniami ich układu uzimów jest wystarczający dla uzimów wykonanych z materiałów, których czas trwałości określany jest na kilka-kilkanaście lat ?

4. Trwałość układu uzimów a aktualne założenia projektowe

Z punktu widzenia konieczności zapewnienia bezpieczeństwa ludzi i ciągłości dostaw energii elektrycznej układ uzimów muszą charakteryzować stałe w czasie parametry elektryczne. Oznacza to, że obliczona wartość rezystancji uzimienia, gwarantująca bezpieczną wartość napięć rażeniowych dotykowych musi być stała podczas eksploatacji stacji, gdyż w innym razie mogą być przekroczone napięcia rażeniowe. Mając na uwadze, że np. dla sieci niskiego napięcia o układzie TT wartość rezystancji uzimienia określa się następująco:

$$R_A \leq \frac{50}{I_a} \quad (1)$$

gdzie:

50 V – wartość napięcia dotykowego względem ziemi odniesienia w układzie AC dopuszczalna długotrwale,

I_a – najmniejszy prąd wyłączający urządzenie, zabezpieczający miejsce doziemienia. dobrany stosownie do wymaganego czasu wyłączenia, to oczywistym warunkiem zapewnienia zdolności zadziałania w wymaganym czasie urządzenia zabezpieczającego, powodującego samoczynne wyłączenie zasilania jest utrzymanie na odpowiednio niskim poziomie wartość rezystancji uzimienia R_A .

Biorąc pod uwagę liczne uwarunkowania środowiskowe mające bezpośredni wpływ na trwałość układu uzimów należy zawsze pamiętać, że zarówno obliczanie rezystancji układu uzimów jak też projektowanie konstrukcji uzimów może być przeprowadzane przy ograniczonym poziomie dokładności.. Warto przy tej okazji zwrócić uwagę na podstawowy fakt, że rezystancja dowolnego układu uzimów jest proporcjonalna do wartości rezystywności gruntu, jaki go otacza

$$R \sim K \cdot \rho \quad (2)$$

gdzie:

- K – współczynnik konstrukcyjny uwzględniający takie parametry jak: długość, głębokość pograżenia, pole zajmowanej powierzchni, wymiary poprzeczne przewodów uziomowych
- ρ – lokalna rezystywność gruntu.

Zmienność czynników środowiskowych mających bezpośredni wpływ na rezystywność gruntu nie może być uwzględniana z odpowiednio dużą dokładnością, jeżeli stosujemy bardzo ekonomiczne założenia projektowe. Pomijając znane, niemerytoryczne problemy pomiarowe z określeniem wartości rezystywności gruntu na potrzeby projektowe (o tym zagadnieniu więcej informacji można znaleźć w [[9]]) warto skupić się na czynnikach sezonowych, które mogą diametralnie wzburzyć przyjęte założenia projektowe. Oczywiście chodzi tu przede wszystkim o takie podstawowe parametry, jak temperatura i wilgotność gruntu, które z uwagi na lokalizację Polski w określonej strefie klimatycznej muszą być brane pod uwagę przy projektowaniu układów uziomów, a póki co nie są.

Już samo określenie klimatu Polski jako ciepłego umiarkowanego przejściowego, zróżnicowanego pomiędzy klimatem umiarkowanym oceanicznym na zachodzie kraju a klimatem umiarkowanym kontynentalnym na wschodzie, według klasyfikacji Köppena, związane jest głównie z wpływem na klimat Polski mas powietrza polarno-morskiego i polarno-kontynentalnego. Z tych oczywistych względów przez znaczną część roku temperatury powietrza w Polsce spadają poniżej 0 °C przenosząc się w miesiącach zimowych do gruntu na głębokości określane głębokością przemarzania h_z . Wiadomo, że ma to oczywiste znaczenie dla wartości rezystywności gruntu, gdyż ta - po obniżeniu temperatury poniżej 0 °C - wzrasta znacznie osiągając często wartości kilkukrotnie, a nawet kilkunastokrotnie większe od tych, znanych nam przy temperaturach dodatnich, przyjmowanych do projektowania uziomów jako dane wyjściowe.

Warto więc, dla własnej wiedzy skorzystać ze znanej od 1982 roku mapy stref klimatycznych Polski [[10]], która obecnie zamieszczona została w nowszej wersji w normie [[11]] odnoszącej się do metod projektowania instalacji ciepłych w budynkach. W rzeczywistości dla celów projektowania uziomów bardziej przydatna będzie mapa stref przemarzania gruntu zamieszczona w wycofanej już normie PN-B-03020:1981 [[12]], na której powierzchnię Polski podzielona cztery strefy przemarzania:

- I strefa - głębokość przemarzania: $h_z = 0,8$ m,
- II strefa - głębokość przemarzania: $h_z = 1$ m,
- III strefa - głębokość przemarzania: $h_z = 1,2$ m,
- IV strefa - głębokość przemarzania: $h_z = 1,4$ m.

Dla obliczeń budowlanych założono, że fundament budynku zawsze musi być posadowiony poniżej miejscowej głębokości przemarzania.

Czy nie powinno być także podobnie przy projektowaniu uziomów? Wiadomo, że przez wiele lat w naszym kraju głębokość, na której układano poziome odcinki uziomów wynosiła 60 cm dla celów elektroenergetycznych i 80 cm - dla telekomunikacji. Obecnie, w normach odgromowych [[7]] spotyka się jeszcze mniejszą, bo 50 cm głębokość ułożenia uziomu. Trudno się zgodzić, analizując faktyczne głębokości przemarzania gruntu w Polsce, aby takie wymaganie miało w warunkach klimatycznych naszego kraju jakiegokolwiek logiczne uzasadnienie, poza tym przypadkiem, gdy taki uziom jest projektowany dla wysterowania potencjałów na powierzchni gruntu. Wydaje się oczywistym, że trzeba jednoznacznie założyć na etapie projektowania, że dla uniknięcia znacznych sezonowych zmian rezystancji wypadkowej układu uziomów konieczne jest pograżenie poniżej

głębokości przemarzania gruntu tej części konstrukcji uziomu, która zapewni stabilność wymaganej rezystancji także w okresie zimowym. Bo przecież zimą zależy nam również na bezpieczeństwie życia ludzkiego i zapewnieniu ciągłości dostaw energii elektrycznej. Przyjęcie takich założeń uniezależni nas również w znacznym stopniu od wpływu wilgotności na rezystywność gruntu, której rosnąca zawartość w glebie w okresach deszczowych korzystnie zmniejsza rezystancję uziomów (niestety, jednocześnie przyczynia się do ich szybszej korozji), a w okresach suchych może prowadzić do przekroczenia wymaganej wartości rezystancji uziemienia.

5. Materiał uziomów a ich trwałość

Z uwagi na doskonałą przewodność elektryczną miedź jest interesującym materiałem do stosowania również w układach uziomów. Jednak o szerszym zastosowaniu tego materiału na uziomy zdecydowała przede wszystkim wysoka odporność miedzi na korozję ziemną, z uwagi na fakt, że miedź jest katodą w stosunku do większości innych metali pograżonych w jej pobliżu w gruncie.

Od czasu, kiedy na początku XX wieku metalurg John Ferreol Monnot jako pierwszy opracował skuteczny proces wytwarzania stali miedziowanych pojawił się materiał znacznie tańszy od miedzi, który z powodzeniem znalazł powszechne zastosowanie w układach uziomów. Materiał ten określany jako CCS (*ang.* Copper Clad Steel) jest kompozytem materiału przewodzącego zawierającego niskowęglową stal otoczoną miedzią. Najczęściej jest wykorzystywany wszędzie tam, gdzie oprócz dostatecznie dobrej przewodności elektrycznej potrzebna jest wysoka wytrzymałość mechaniczna przewodu.

W rozwiązaniach zalecanych w normach, odnoszących się do uziomów, spotyka się stal miedziowaną elektrolitycznie [[6],[7]] oraz stal pokrywaną miedzią w sposób mechaniczny (platerowaną) [[6]]. Najbardziej konkurencyjny cenowo dla zastosowania na uziomy okazał się proces elektrolitycznego pokrywania stali miedzią, gdyż gwarantuje on otrzymanie bardzo stabilnej jednakowej grubości warstwy miedzi wzdłuż długości stalowego pręta przy jednoczesnym zachowaniu bardzo wysokich parametrów mechanicznych i korozyjnych. Taki właśnie kompozyt stali i elektrolitycznie naniesionej warstwy miedzi rozpowszechnił się w świecie w układach uziomów, a w Polsce w ostatnich ponad 20 latach w postaci prętów stalowych pokrytych warstwą miedzi o grubości powłoki co najmniej 250 μm , stosowanych zazwyczaj na uziomy pionowo pograżane w gruncie oraz drutów i taśm stalowych pokrytych cieńszą warstwą miedzi, o grubości powłoki co najmniej 70 μm , przeznaczanych na uziomy lub przewody uziomowe (łącznie oddzielne uziomy) układane poziomo.

Ciekawą informację można znaleźć w odniesieniu do powszechnie stosowanego u nas na uziomy materiału, jakim jest stal ocynkowana. W *Przewodniku po bezpieczeństwie w uziemianiu stacji elektroenergetycznych na prąd zmienny* (IEEE Std 80-2013 [[5]]) wydawanym przez The Institute of Electrical and Electronic Engineers odnośnie stosowania stali ocynkowanej, ale i stali nierdzewnej, znajduje się zapis o tym, że materiały te mogą być stosowane na uziomy wszędzie tam, gdzie warunki glebowe mogą być szkodliwe dla miedzi. Kontekst jest oczywisty: w pierwszym stosujemy materiały zawierające miedź, a tam, gdzie z jakichś powodów tego nie można zrobić – stal ocynkowaną lub nierdzewną. Uważa się jednocześnie, że stosowanie stali ocynkowanej i stali nierdzewnej w połączeniu z ochroną katodową jest typowym rozwiązaniem dla stalowych układów uziomów [[8]].

I rzeczywiście trwałość uziomów ze stali ocynkowanej (StZn) ocenia się maksymalnie na kilkanaście lat, a trwałość uziomów miedziowanych (StCu) elektrolitycznie - na 30-40 lat w zależności od grubości powłoki miedzi 250 - 330 μm i większej. Stal miedziowana jest najbardziej popularnym materiałem stosowanym w układach uziomów, a zwłaszcza gdy problemem staje się kradzież przewodników miedzianych. Zjawisko kradzieży dotyczy nie tylko, jak by się zdawało, naszego kraju, ale przybrało znaczną skalę nawet w krajach arabskich, gdzie często - jak wiadomo - kradzież karana jest dotkliwie.

Z tej krótkiej analizy materiałów stosowanych na uziomy jednoznacznie wynika, że największą trwałość mają uziomy wykonane z miedzi, jednak z uwagi na wysoką cenę tego metalu oraz jego małą stosunkowo wytrzymałość mechaniczną (szczególnie przy pogrążaniu w gruncie elementów pionowych), w naszych warunkach ekonomicznych najbardziej optymalnym materiałem na uziomy aktualnie wydaje się stal z miedzianą powłoką ochronną.

6. Inne czynniki mające wpływ na trwałość

Wydaje się, że dla zrozumienia faktycznych przyczyn i skutków uszkodzeń układów uziomów warto również rozważyć jak w rzeczywistości wygląda problem trwałości układu uziomów stacji SN/nn związany z aktualnym podejściem do projektowania, wykonawstwa i eksploatacji układów uziomów w tych obiektach. Szeroko opisane, niepokojące doniesienia na ten temat można znaleźć w publikacji *„Archaiczne podejście do układów uziomowych w energetyce – czas na profesjonalizm”* [[9]].

7. Wnioski końcowe

W całym okresie eksploatacji układ uziomów stacji SN/nn powinien spełniać wszystkie kryteria, które były brane pod uwagę w trakcie przyjmowania założeń projektowych, a także utrzymywać wszystkie zaprojektowane cechy użytkowe w bezpiecznych przedziałach. Niezmiennność parametrów uziomów, charakteryzująca ich rzeczywistą trwałość, powinna stać się oczywistym elementem świadomości projektowej, do czego konieczna jest zmiana podejścia m.in. w stosunku do minimalnych głębokości pogrążania uziomów i ustalania ich na poziomie niższym od głębokości przemarzania gruntu. Warto dokonać szczegółowego przeglądu materiałów stosowanych na uziomy w kontekście ich wpływu na trwałość układów uziomów, aby uniknąć sytuacji, w których tanie na etapie montażu materiały, o których wiadomo, że ulegną korozji w stopniu kwalifikującym je do wymiany znacznie szybciej od założonego okresu użytkowania stacji SN/nn, staną się przyczyną zbyt wysokiego poziomu niepewności już po kilku-kilkunastu latach eksploatacji a także poważnych awarii skutkujących wyłączeniem stacji z ruchu.

Literatura

- [1] CHOJNACKI A.Ł.: Podstawowe funkcje niezawodnościowe stacji 110 kV/SN oraz rozdzielni sieciowych SN. Przegląd Elektrotechniczny, nr 8, 2016, s. 238-241
- [2] CHOJNACKI A.Ł.: Statystyczna analiza cech i parametrów niezawodnościowych stacji SN/nn słupowych oraz wewnętrznych (część 1.). elektro.info, nr 4, 2010, s. 46-52, (część 2.). elektro.info, nr 5, 2010, s. 68-72
- [3] CHOJNACKI A.Ł.: Wskaźniki oraz właściwości niezawodnościowe układów uziomowych eksploatowanych w elektroenergetycznych stacjach transformatorowo-rozdzielczych SN/nn. INPE, Nr 194-195 (Rok XXI) listopad-grudzień 2015 r., s. 59-71
- [4] Wołkowiński K.: Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych, Wyd. III., WNT, Warszawa 1967, s. 472.
- [5] IEEE Std 80-2013: IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding
- [6] PN-EN 50522:2011: Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV
- [7] PN-EN 62305-3:2011: Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia
- [8] Mahonar, V. N., and Nagar, R. P.: Design of steel earthing grids in India. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Volume: PAS-98, Issue: 6, Nov. 1979, s. 2126-134
- [9] Zielenkiewicz M.: Archaiczne podejście do układu uziomów w energetyce - czas na profesjonalizm. Wiadomości Elektrotechniczne, R. 84, nr 9, 2016, s.31-38 oraz INPE, Nr 204 (Rok XXII) wrzesień 2016 r., s. 3-22
- [10] PN-82/B-02403: Ogrzewnictwo -- Temperatuty obliczeniowe zewnętrzne
- [11] PN-EN 12831:2006: Instalacje ogrzewcze w budynkach -- Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego
- [12] PN-B-03020:1981: Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie