

*Centrum Ochrony  
przed Przepięciami i Zakłóceniami Elektromagnetycznymi  
w Białymstoku*



# **Podstawowe błędy przy projektowaniu i budowie uziomów fundamentowych**

## **Opracowanie:**

dr inż. Mirosław Zielenkiewicz  
dr inż. Tomasz Maksimowicz

## **RST Sp. z o.o.**

15-620 BIAŁYSTOK  
ul. Elewatorska 17/1

tel.: 792 350 100

[www.rst.bialystok.pl](http://www.rst.bialystok.pl)  
e-mail: [rst@rst.bialystok.pl](mailto:rst@rst.bialystok.pl)



**Białystok, wrzesień 2015 r.**

## 1. Wstęp

Wykorzystanie zbrojenia fundamentu obiektu budowlanego jako elementu układu uziemiającego w powszechnej opinii specjalistów stanowi najlepsze rozwiązanie zarówno z praktycznego jak i ekonomicznego punktu widzenia. Główne zalety takiego rozwiązania - to łatwość i niski koszt jego wykonania, dobry kontakt fundamentu z gruntem, stabilność jego rezystancji w czasie (mała zależność rezystywności fundamentu od zmian temperatury i wilgotności) i maksymalne wykorzystanie jego powierzchni do rozproszenia prądów uziomowych w gruncie. Prawidłowo wykonany uziom fundamentowy powinien spełniać wszystkie funkcje oczekiwane od układu uziomów zarówno jako punkt odniesienia dla instalacji elektrycznych, w tym: do ochrony od porażeń oraz jako efektywna trasa odprowadzania prądu pioruna do gruntu za pośrednictwem przewodów instalacji ochrony odgromowej. Niestety w trakcie konstruowania uziomów fundamentowych projektanci i wykonawcy bardzo często popełniają podstawowe błędy, w wyniku których układy uziomów wykorzystujące również uziom fundamentowy jako naturalny uziom nie spełniają wymagań obowiązujących norm. W związku z powyższym takie układy uziomów mogą - z biegiem czasu - ulec przyspieszonej degradacji.

Niniejszy artykuł ma na celu ponowne zwrócenie uwagi na problemy z właściwym wykorzystaniem fundamentów w charakterze uziomów, gdyż pomimo znacznej ilości publikacji w tym przedmiocie, jakie ukazały się w ostatnim okresie (m.in. [6], [14], [15]) liczba błędów popełnianych przy budowie uziomów fundamentowych jest wciąż bardzo wysoka.

## 2. Zalecenia wykorzystania uziomów fundamentowych

Wiadomo, iż beton ułożony w gruncie jest materiałem półprzewodzącym [1, 11] o rezystywności od około  $30 \Omega \cdot m$  [1] do  $200 \Omega \cdot m$  [4, 5] przy  $20^{\circ}C$ . Jego przewodnictwo elektryczne ma charakter elektrolityczny, na które silny wpływ mają wilgotność i temperatura. Beton zastosowany do wypełnienia fundamentów, z uwagi na jego głęboką lokalizację w gruncie, charakteryzuje się bardzo stabilnymi w funkcji czasu parametrami elektrycznymi w przeciwieństwie do powszechnie stosowanych uziomów poziomych układanych w gruncie płytko, bo na głębokościach  $0,5 \div 0,8$  m. Tak mała głębokość oznacza możliwość przemarznięcia gruntu, gdyż w warunkach Polski głębokość przemarzania zawiera się między 0,8 m dla obszarów Polski zachodniej do 1,4 dla rejonu Suwalszczyzny. Prowadzi to do radykalnego wzrostu rezystywności gruntu w temperaturze mniejszej od  $0^{\circ}C$ , co przekłada się jednoznacznie na wzrost rezystancji uziemienia i pogarsza bezpieczeństwo elektryczne w takich obiektach. Z tych powodów wykorzystanie fundamentu jako stabilnego uziomu naturalnego lub sztucznego jest bardzo korzystne i w krajach rozwiniętych gospodarczo uziomy fundamentowe są używane powszechnie. Podobnie jest w Polsce, gdzie ich stosowanie ma aktualnie charakter obligatoryjny, gdyż zgodnie z treścią §184 ust. 1.

rozporządzenia ministra infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie „jako uziomy instalacji elektrycznej należy wykorzystywać metalowe konstrukcje budynków, zbrojenia fundamentów oraz inne metalowe elementy umieszczone w niezbrojonych fundamentach stanowiące sztuczny uziom fundamentowy” [2]. Są, co prawda, opinie podważające obowiązkowy charakter przytoczonego rozporządzenia, lecz z uwagi na rangę instytucji wprowadzającej ten dokument w życie w formie aktu wykonawczego do ustawy Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. (zgodnie z jej zapisami Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414 – patrz art. 7), posiadający obecnie status „obowiązujący” oraz brak de facto alternatywy, poglądy te należy uznać za niezasadne. Oczywiście korzyści ekonomiczne i praktyczne płynące ze stosowania uziomów fundamentowych wydają się być główną przyczyną takiego obowiązku.

Zalecenie stosowania uziomów fundamentowych występuje także w normach międzynarodowych zarówno w odniesieniu do instalacji elektrycznych (seria norm PN-HD 60364 [3]) jak i do ochrony odgromowej (seria PN-EN 62305 [4]). W normach tych szczegółowo opisano wymagania dla prawidłowego zaprojektowania i wykonania uziomu fundamentowego, które powinny być ściśle przestrzegane w celu osiągnięcia skutecznego i trwałego w czasie układu uziemiającego.

### **3. Uziom fundamentowy sztuczny**

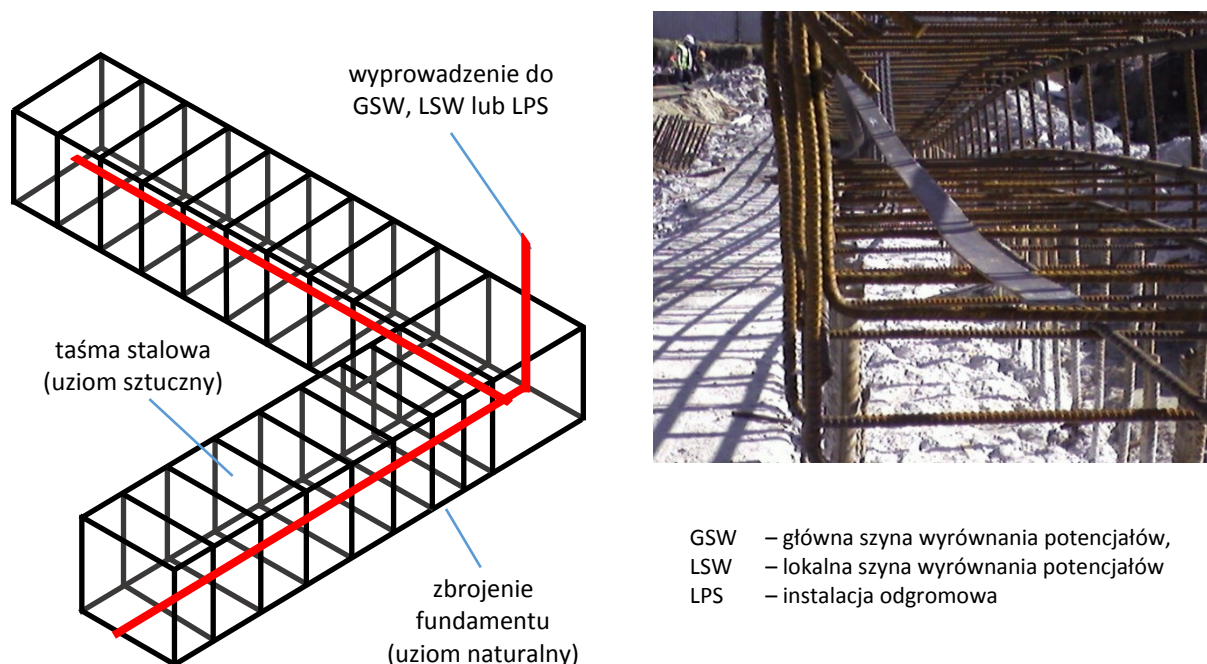
Wiadomo, iż standardowo wykonane zbrojenie fundamentu stalą łączoną wzajemnie drutem wiązałkowym (uziom naturalny) nie spełnia wymagań stawianych uziomowi fundamentowemu zarówno w normach dedykowanych instalacjom elektrycznym niskiego napięcia [3] jak i w normach dotyczących ochrony odgromowej [4]. Uznaje się, co prawda, iż typowe połączenia elementów zbrojenia betonu za pomocą drutu wiązałkowego (rys. 1) zapewniają poprawę właściwości ekranujących konstrukcji żelbetowej i jest skuteczne z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej [4], jednak - z powodu spodziewanych zbyt wysokich naprężeń mechanicznych - nie gwarantują utrzymania odpowiednio trwałej ciągłości galwanicznej w trakcie odprowadzania dużych prądów uziomowych występujących przy zwarciach doziemnych w instalacji elektrycznej lub podczas przepływu częściowych prądów piorunowych. Z tego względu konieczne jest wzmocnienie metalowej konstrukcji uziomu naturalnego dla zapewnienia odpowiednio trwałej mechanicznie i elektrycznie ciągłości tras przepływu tych prądów.



**Rys. 1.** Tradycyjne łączenie zbrojenia fundamentu drutem wiązałkowym nie gwarantuje pewności takiego połączenia pod względem trwałości jego właściwości elektrycznych

Z zaleceń norm wynika, że stalowe zbrojenie betonu jest uznawane za ciągłe jako część instalacji odgromowej, gdy wzajemne połączenia pionowych i poziomych prętów zbrojeniowych są w przeważającej części spawane lub łączone w inny skuteczny sposób, przy czym połączenia prętów pionowych powinny być spawane, zaciskane lub wiązane na zakładkę na odcinku o długości równej co najmniej 20-krotnej ich średnicy [4]. Z praktyki wynika, iż spełnienie tych wymagań, czyli wykonanie spoin spawanych na odcinkach aż 15÷40 cm dla typowych prętów o średnicy 8÷20 mm, choć teoretycznie możliwe, wymaga sporego nakładu pracy i, dodatkowo, utrzymania na placu budowy bardzo wysokiej kultury technicznej, co - jak powszechnie wiadomo - nie jest niestety często możliwe z uwagi na tzw. czynnik ludzki.

W związku z tym bardziej opłacalne jest wykonanie uziomu fundamentowego sztucznego poprzez umiejscowienie w objętości fundamentu dodatkowych przewodników (prętów lub taśm), np. w postaci zamkniętych pierścieni lub prostokątów ułożonych po obwodzie fundamentu (rys. 2), tworzących podstawowy szkielet takiego uziomu sztucznego. Zgodnie z wymaganiami norm zaleca się, aby najdłuższe wymiary dodatkowych przewodników nie przekraczały 20 m, w związku z tym szkielet uziomu fundamentowego sztucznego należy wykonać w postaci sieci przewodów o wymiarach oka nie większych niż 20 m. Oczywiście jako elementy szkieletu uziomu fundamentowego mogą być wykorzystywane odpowiednio łączone pręty zbrojeniowe, jak już o tym wspomniano wcześniej, lub pręty gładkie, zalecane dla tego celu dla odróżnienia od żebrowanych zbrojeniowych [4], jednak z uwagi na trudności z kształtowaniem takich prętów prościej oraz w rezultacie szybciej i taniej jest zastosować w tym celu dodatkowe przewodniki wykonane z łatwych do układania taśm metalowych.



**Rys. 2.** Sztuczny uziom fundamentowy dla instalacji odgromowej zbudowany na bazie fundamentu żelbetowego

### 3.1 Materiały stosowane na dodatkowe przewodniki układane w żelbecie

Następujące materiały są zalecane do stosowania na dodatkowe przewodniki instalowane w żelbecie dla zastosowań w instalacji odgromowej [4]:

- stal,
- stal miękka,
- stal ocynkowana,
- stal nierdzewna,
- stal pomiedziowana
- i miedź.

W rzeczywistości do budowy uziomu sztucznego na bazie fundamentów najczęściej wykorzystywane są taśmy stalowe o grubości 2-4 mm, powszechnie nazywane bednarkami. Do tego celu w zupełności wystarcza zwykła stal węglowa („czarna”), która otoczona otuliną z betonu jest bardzo dobrze zabezpieczona przed korozją, o ile beton przylega do niej szczelnie. Stosowanie stali ocynkowanej na dodatkowe przewodniki w fundamencie nie ma żadnego uzasadnienia, gdyż nie daje to lepszych efektów wskutek elektrochemicznej reakcji warstwy cynku z betonem, która szybko ulega degradacji. Stal nierdzewna i miedź z uwagi na koszt materiału nie jest w naszym kraju zbyt często stosowana.

Dla pełniejszego wykorzystania objętości fundamentu przewody uziomu sztucznego powinny być pewnie połączone ze stalą zbrojeniową w odstępach nie większych niż 2 m. Łączenie zaleca się wykonywać poprzez spawanie, zgrzewanie

egzotermiczne lub za pomocą specjalnych złącz skręcanych. Połączenia spawane i zgrzewane są uznawane za bardziej pewne niż skręcane, gdyż po stężeniu betonu zacisków nie uda się już sprawdzić.

Dodatkowe utrudnienia przy stosowaniu złącz skręcanych opisane są w normie odgromowej [4] w odniesieniu do przewodów wyprowadzanych na zewnątrz fundamentu i wskazują na konieczność stosowania:

- zawsze dwóch przewodów łączących albo jednego przewodu z dwoma zaciskami mocowanymi do dwóch różnych prętów zbrojeniowych dla uzyskania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa takiego połączenia w betonie;
- dokładnego uszczelnienia obszaru złącza mechanicznego z zastosowaniem związku hamującego zawilgocenie w przypadkach, gdy przewód łączący i pręt zbrojeniowy są różnymi metalami (w celu zapobieżenia ewentualnej korozji w tych miejscach).

Tego typu uwarunkowania nie występują przy stosowaniu połączeń spawanych i zgrzewanych, co powinno ułatwić decyzję o ich wyborze przy łączeniu dodatkowych przewodów do zbrojenia. Biorąc to pod uwagę wydaje się oczywistym, iż stosowanie złącz spawanych jest znacznie prostsze, bo tańsze i pewniejsze wszędzie tam, gdzie spawanie jest dopuszczone do stosowania przez projektanta konstrukcji żelbetowej obiektu. Nie może być to jednak spawanie punktowe, ponieważ może ono ulec uszkodzenia podczas zalewania betonem. Spoiny powinny być wykonywane na odcinku co najmniej 5 cm wzdłuż prętów zbrojeniowych (do niedawno uznawano za wystarczający spaw o długości 3 cm).

Niezwykle skuteczną i polecaną metodą łączenia jest zgrzewanie egzotermiczne, niestety obecnie jeszcze słabo rozpowszechnione w Polsce. Zapewnia ono najtrwalsze połączenie nawet różnych metali zarówno pod względem mechanicznym, ale również z punktu widzenia ochrony przed korozją z uwagi na wytworzenie podczas procesu takiego zgrzewania stopów ze wszystkich metali znajdujących się w całej objętości objętej formą. Wykonuje się je w prosty sposób za pomocą specjalnych form grafitowych wypełnionych specjalnym proszkiem, który przy spalaniu osiąga temperaturę do 2000°C, bez użycia innego specjalistycznego sprzętu wymagającego np. zasilania elektroenergetycznego lub stosowania ciężkich butli gazowych.

Tam, gdzie na wykonanie połączeń spawanych lub zgrzewanych ze stalą zbrojenia nie uzyskano zezwolenia projektanta konstrukcji żelbetowej (np. w betonie sprężonym) zaleca się stosowanie zacisków skręcanych, lecz wyłącznie tych, które zostały przetestowane zgodnie z PN-EN 62561-1 [8] (wcześniej PN-EN 50164-1).

Istotnym zagadnieniem jest odpowiedni sposób umieszczania dodatkowej taśmy wewnątrz konstrukcji uziumu fundamentowego. Zwraca się szczególną uwagę na taki sposób jej ułożenia, aby zapobiec powstawaniu szczelin z powietrzem niewypełnionych betonem przy zalewaniu. Osiąga się to poprzez sytuowanie jej w sposób nie utrudniający spływania po niej betonu. W tym celu układane równolegle

w stosunku do gruntu elementy taśm uziomu sztucznego kierujemy prostopadłe do ziemi dłuższą krawędzią ich przekroju poprzecznego, czyli metodą na sztorc.

Dla skutecznej ochrony przed korozją przewodzące elementy uziomu fundamentowego powinny być pogrążone w betonie na głębokość nie mniejszą niż 50 mm od zewnętrznych płaszczyzn fundamentu. W przypadku, gdy fundament nie posiada zbrojenia, to dla zapewnienia tej odległości metalowe elementy uziomu sztucznego powinny być układane przed zalaniem betonem na specjalnych wspornikach.

### **3.2 Fundament izolowany od gruntu**

Należy pamiętać, że nie zawsze możliwość wykorzystania fundamentu do budowy układu uziemień jest oczywista. Uważa się, że zastosowanie pod fundamentem nieprzewodzącej warstwy izolacji cieplnej lub warstwy hydroizolacji wykonanej np. z plastikowych folii o grubości przekraczającej 0,5 mm stanowi dobrą izolację elektryczną, co sprawia, iż wykorzystanie fundamentu na uziemień staje się nieopłacalnym. W takich przypadkach konieczne jest zastosowanie innych rozwiązań dla uziemienia, np. dodatkowej warstwy uziomu fundamentowego umieszczonej pod warstwą odizolowaną. Na dnie wykopu przygotowanego pod odizolowany fundament obiektu wylewana jest warstwa betonu o grubości 10-15 cm, w której umieszcza się elektrodę uziemiającą wykonaną w postaci siatki o rozmiarach oczek nie większych niż 10 m. Dla takiego rozwiązania możemy użyć za E. Musiałem określenia uziom parafundamentowy [6], które dobrze określa sens uziomu zastępującego w takim przypadku uziom fundamentowy, gdy bryła fundamentu obiektu jest z konieczności odizolowana od otaczającego go gruntu.

### **3.3 Dokumentacja powykonawcza uziomu fundamentowego**

Po zalaniu konstrukcji uziomu fundamentowego sztucznego betonem nie jest już możliwe sprawdzenie zgodności jego wykonania z założeniami projektowymi. Z punktu widzenia pewności działania takiego uziomu w okresie użytkowania obiektu, zgodnie z zaleceniami norm [4], konieczne jest sporządzenie dokumentacji powykonawczej zawierającej opis, rysunki i zdjęcia przedstawiające szczegółowo sposób ułożenia uziomu i wykonanie wszelkich wewnętrznych połączeń jeszcze przed wypełnieniem fundamentów betonem. Protokół z wykonania wszystkich dodatkowych połączeń w betonie powinien być podpisany zarówno przez ich wykonawcę, jak i inspektora nadzoru po jego osobistym wizualnym sprawdzeniu prawidłowości doboru materiałów, ich wymiarów oraz stanu i sposobu wykonania wszystkich połączeń przed wylaniem betonu. Brak odpowiednich tradycji w tym zakresie sprawia, iż takie dokumentacje niestety są jednak rzadko wykonywane, co bardzo często wiąże się z dodatkowymi kosztami

inwestycji, gdy okazuje się, że brak tych informacji uniemożliwia wykorzystanie fundamentu do celów ochrony odgromowej.

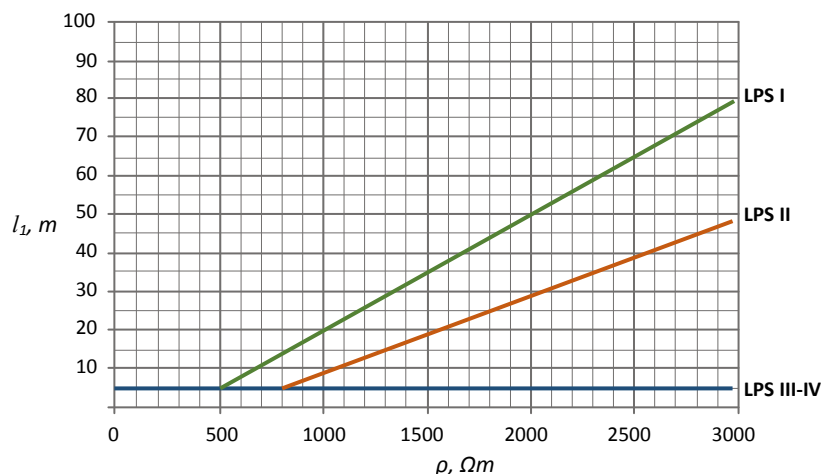
## 4. Łączenie uziomu fundamentowego z instalacjami przewodzącymi pod powierzchnią gruntu

### 4.1 Kryteria doboru uziomów

W przypadku zwykłych obiektów, nie posiadających instalacji odgromowej, gdzie system uziemiający ma zapewnić jedynie poprawną pracę instalacji elektrycznej nie ma ściśle określonych wymagań jakie musi on spełniać [3]. Jednak w wielu przypadkach, gdy uziomowi stawia się ściśle określone wymagania dotyczące wartości jego rezystancji, np. ze względu na ochronę od porażeń w sieciach energetycznych lub gdy obiekt wyposażony jest w instalację odgromową układ uziomów musi spełniać określone warunki. W takich przypadkach uziom fundamentowy występujący jako jedyny element układu uziomów może okazać się niewystarczający i konieczne będzie jego uzupełnienie o dodatkowe uziomy sztuczne pograżone w gruncie.

W normie PN-EN 62305-3 [4], zawierającej zalecenia odnośnie do projektowania i montażu urządzeń piorunochronnych, jako podstawowe dla układu uziomów zawarto kryterium minimalnej długości uziomu  $l_1$  zgodnie z rysunkiem 3, zalecając przy tym dodatkowo, aby wartość rezystancji uziomu odgromowego nie była większa od  $10 \Omega$ . Długość  $l_1$  zależna jest od przyjętej klasy instalacji odgromowej LPS odpowiednio do wymaganego poziomu ochrony odgromowej LPL oraz od lokalnej rezystywności gruntu  $\rho$ . W przypadku uziomów fundamentowych, które wchodzi w skład uziomów typu B, przyjmuje się, że kryterium długości uziomu jest spełnione w przypadku, gdy promień  $r_e$  koła o powierzchni  $A = \pi \cdot r_e^2$  równej co do wartości powierzchni zajmowanej przez fundament, jest nie mniejszy niż długość  $l_1$ . W przypadku IV i III poziomu ochrony odgromowej, dla którego przyjmuje się stałą – niezależną od rezystywności gruntu - wartość  $l_1 = 5$  m dla spełnienia tego warunku fundament budynku musi obejmować powierzchnię co najmniej  $A = 78,5$  m<sup>2</sup>, czyli dla przykładu jego wymiary będą wynosiły: 8,86 m x 8,86 m lub 5,23 m x 15 m. Powierzchnia ta musi być odpowiednio większa dla obiektów o stwierdzonym podwyższonym zagrożeniu piorunowym odpowiadającym II. i I. poziomowi ochrony odgromowej, położonych w terenach o trudnych warunkach glebowych, gdzie występują grunty o wyższej rezystywności. Przykładowo, dla obiektu dla którego przyjmuje się najwyższy I. poziom ochrony odgromowej, położonego w terenie o rezystywności gruntu  $\rho = 1000 \Omega\text{m}$  długość uziomu  $l_1$  powinna wynosić 20 m, co odpowiada już powierzchni  $A = 1257$  m<sup>2</sup> (przykładowe wymiary powierzchni zajętej przez uziom: 35,45 x 35,45 m, 10 x 125,70 m).





**Rys. 3.** Wymagana długość uziomu  $l_1$  w zależności od rezystywności gruntu i kategorii instalacji odgromowej wg PN-EN 62305-3

Warunek ten można pominąć, jeżeli rezystancja uziemienia samego uziomu fundamentowego jest mniejsza niż  $10 \Omega$ , jednak można się posiłkować taką wiedzą wyłącznie w przypadku obiektów już istniejących, gdy dostosowujemy ich instalacje do wymogów aktualnych norm. W obiektach projektowanych, jak wiadomo, nie sposób pomierzyć taką rezystancją, gdyż ich po prostu jeszcze nie wybudowano. Oczywiście, doświadczony inżynier jest w stanie oszacować przewidywaną wartość rezystancji uziomu fundamentowego na podstawie wzorów występujących w poradnikach, jednak do tego celu konieczne będzie wykonanie pomiarów lokalnej rezystywności gruntu.

Z przykrością należy jednak stwierdzić, iż w rzeczywistości projektanci instalacji odgromowych najczęściej nie uwzględniają tego kryterium, gdyż nie wykonują pomiarów rezystywności gruntu oraz nie liczą w sposób prawidłowy zagrożenia piorunowego projektowanych obiektów. Jak wiadomo wykonanie pomiarów wymaga odwiedzenia miejsca przyszłego palca budowy, co przy obecnych bardzo niskich kosztach prac projektowych bardzo często nie jest praktykowane. Taka sama sytuacja ma dzisiaj miejsce również w stosunku do sposobu określenia przez projektantów wymaganego poziomu ochrony odgromowej, który ma bezpośredni wpływ, jak opisano to wcześniej, na wielkość powierzchni zajmowanej przez uziom fundamentowy, która spełnia, lub nie, wymagania norm. Przegląd aktualnych dokumentacji projektowych pokazuje, że pomimo wymagania, aby poziom LPL był określony na podstawie obliczeń prowadzonych na podstawie arkusza 2. normy PN-EN 62305 projektanci bardzo rzadko się tą normą posługują. Jak w takiej sytuacji udaje im się zaprojektować odpowiedni uziom fundamentowy bez odpowiednich obliczeń zagrożenia piorunowego i pomiarów lokalnej wartości rezystywności gruntu pozostanie tajemnicą projektantów. Zdając sobie sprawę z realiów dzisiejszych czasów pozostaje jednak otwartym i bardzo zasadnym w tej sytuacji pytanie o uczciwość projektanta wobec zamawiającego projekt. Zgody na dalsze trwanie takiego stanu rzeczy być nie może i stąd, między innymi, wynikała potrzeba napisania niniejszego artykułu.

Innym głównym warunkiem, jaki bywa stawiany systemowi uziemiającemu, jest wymagana wartość rezystancji uziemienia. Kryterium to dotyczy przykładowo:

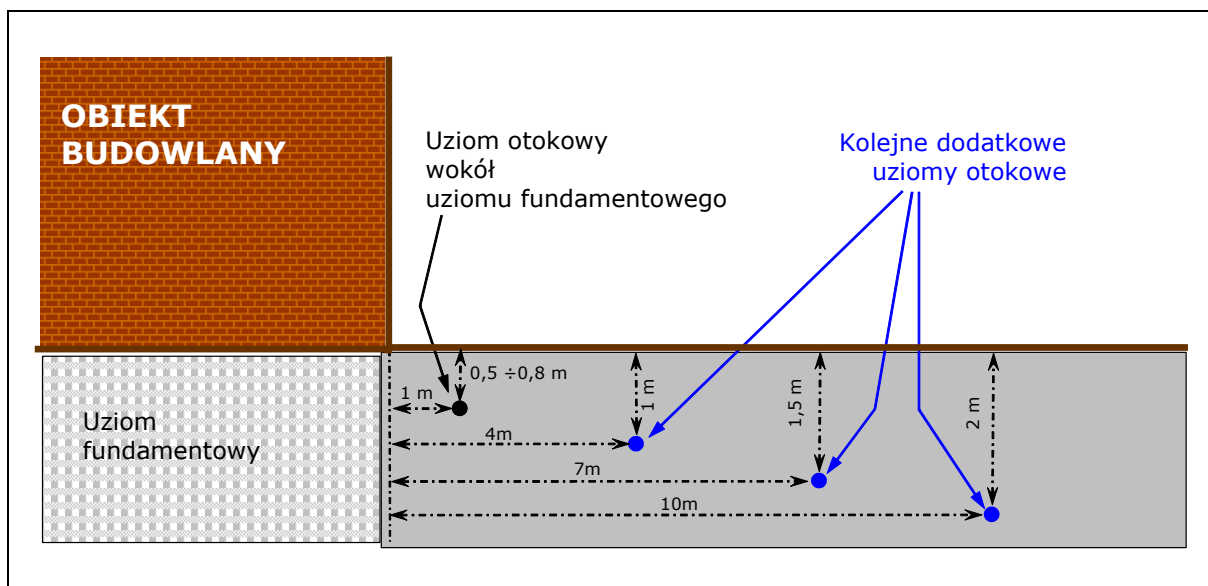
- słupów linii napowietrznych powyżej 45 kV, dla których wymagana wartość rezystancji nie powinna przekraczać 10  $\Omega$ , 15  $\Omega$  lub 20  $\Omega$  w zależności od rezystywności gruntu i napięcia znamionowego linii [11, 12],
- obiektów zagrożonych wybuchem, dla których rezystancja uziemienia instalacji piorunochronnej musi być możliwie jak najmniejsza i nie większa niż 10  $\Omega$ .

Jeszcze ostrzejsze wymagania stawiane są w obiektach, w których rezystancja uziemienia musi spełniać wymagania związane z ochroną od porażień w instalacjach wysokiego i niskiego napięcia, np. w przypadku stacji transformatorowych. W tym przypadku często wymagana jest rezystancja uziemienia o wartości pojedynczych omów, a czasem i mniejszych wartości. Należy również uwzględnić fakt, iż w trakcie eksploatacji rezystancja uziomu fundamentowemu z czasem wzrośnie.

#### **4.2 Konieczność rozszerzenia uziomu o dodatkowe uziomy sztuczne**

W przypadku, gdy uziom fundamentowy nie spełnia któregoś z wymaganych kryteriów (wymiarów geometrycznych, rezystancji) to musi być rozszerzony o dodatkowe, połączone z nim uziomy sztuczne pogrążone w gruncie. Szczególnie w przypadku niewielkich obiektów, takich jak zewnętrzne rozdzielnie wolnostojące, stacje transformatorowe czy kioski aparaturowe spełnienie wymagań częstokroć nie jest możliwe ze względu na zbyt małą objętość fundamentu. Najlepszym rozwiązaniem w takim przypadku jest wykonanie dodatkowego zewnętrznego sztucznego uziomu otokowego wzmocnionego dodatkowymi uziomami pionowymi (dla uniezależnienia się od zmian warunków środowiskowych), których długość dobierana jest odpowiednio dla spełnienia określonego kryterium długości uziomu lub rezystancji uziemienia.

Inną sytuacją, w której uziom fundamentowy będzie wymagał podłączenia zewnętrznych przewodników ułożonych bezpośrednio w gruncie jest konieczność zastosowania wysterowania potencjałów w pobliżu przewodzących ścian budynku lub uziemionego ogrodzeniu obiektu dla zmniejszenia zagrożenia rażeniem istot żywych napięciem krokowym (rys. 4). W tym przypadku rozmieszczenie w ziemi kolejnych warstw przewodów uziemiających, np. pomiedziowanych taśm stalowych, w odległościach co około 2-3 m od uziomu fundamentowego i pomiędzy kolejnymi warstwami, pogrążanych przy ścianie budynku lub ogrodzeniu na głębokość 1 m, a w kolejnych warstwach coraz głębiej o 0,5 m daje gwarancję zbudowania bezpiecznego i długotrwałego urządzenia uziemiającego.



**Rys. 4.** „Sterowanie” napięciem krokowym poprzez zwiększanie głębokości kolejnych elementów uziomu otokowego wg normy **PN-EN 62305-3 [4]**

Na rysunku 5 z kolei przedstawiono wyprowadzenie połączenia z uziomu fundamentowego do studzienki kontrolno-pomiarowej zlokalizowanej przy powierzchni gruntu, łączącej w jednym punkcie pod ziemią uziom fundamentowy, przewód odprowadzający i dodatkowy pionowy uziom sztuczny.



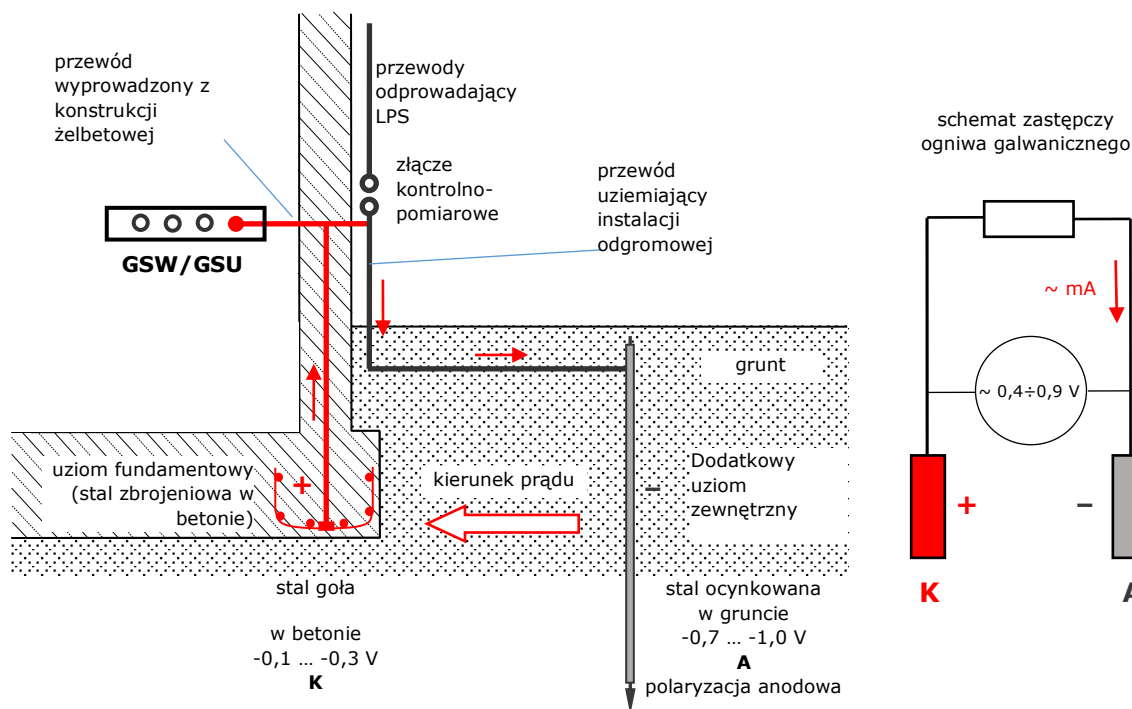
**Rys. 5.** Wyprowadzenie uziomu fundamentowego do złącza kontrolno-pomiarowego (za zgodą *CBM Technology*)

## 5. Dobór odpowiednich materiałów na uziomy sztuczne łączone z uziomem fundamentowym

W przypadku konieczności wykonania dodatkowego zewnętrznego uziomu sztucznego łączonego z uziomem fundamentowym niezwykle istotną kwestią staje

się dobór odpowiednich materiałów. Niestety, obecnie jako najtańsze rozwiązanie najczęściej na uziomy dodatkowe pograżane w gruncie wybiera się stal ocynkowaną, która łączona jest bezpośrednio ze stalą zbrojeniową lub szkieletem uziomu sztucznego ułożonym w betonie bez sprawdzenia, że w takim przypadku różnica potencjałów wyniesie w przybliżeniu  $0,4 \div 0,9$  V. W literaturze technicznej przyjmuje się, na bazie wieloletnich doświadczeń, że różnica potencjałów przekraczająca już  $0,5 \div 0,6$  V stwarza warunki sprzyjające przyspieszonej korozji metali w wyniku utworzenia ogniwa korozyjnego w miejscu ich styku. Niestety wiedza na ten temat wśród projektantów i wykonawców jest obecnie mało znana, chociaż dobrze omówiona w podstawowych normach [3,4]. Z tego względu problem właściwego doboru materiału na uziomy dodatkowe do uziomu fundamentowego niezwykle rzadko jest właściwie rozwiązywany przez projektantów, a jeszcze rzadziej przez wykonawców, których tendencja do „poprawiania” projektów jest obecnie na porządku dziennym. A więc tym większa staje się tu rola inspektora nadzoru jako „strażnika porządku technicznego i prawnego” na budowie, który problemy korozji elektrochemicznej powinien potraktować bardzo poważnie.

Przeanalizujmy jednak szczegółowo, wystąpienia jakich zjawisk możemy oczekiwać po podłączeniu do uziomu fundamentowego sztucznego uziomów dodatkowych wykonanych ze stali ocynkowanej ogniowo. Wiadomo, iż stal zatopiona w betonie oraz stal umieszczona w gruncie mają znacząco różne potencjały elektrochemiczne, odpowiednio:  $-0,1$  V  $\div$   $-0,3$  V oraz  $-0,7$  V  $\div$   $-1,0$  V [6, 7]. Ich bezpośrednie połączenie powoduje utworzenie ogniwa galwanicznego, które pod wpływem różnicy potencjałów wynoszącej w przybliżeniu  $0,4 \div 0,9$  V jest źródłem prądu płynącego nieustannie od materiału o wyższym potencjale (katoda) do materiału o potencjale niższym (anoda). Zjawisko to zilustrowano na rys. 6. W gruncie następuje przepływ prądu w odwrotnym kierunku powodując korozję materiału o niższym potencjale. Zjawisko to jest tym intensywniejsze im większy jest stosunek powierzchni styku z gruntem lub betonem materiału o wyższym potencjale do powierzchni materiału bardziej elektroujemnego. Prąd ten, nawet jeśli osiąga stosunkowo niewielkie wartości natężenia - rzędu miliamperów, stanowi poważne zagrożenie, ponieważ płynie nieprzerwanie i prowadzi do przyspieszonej korozji stali w gruncie. W takiej sytuacji na dodatkowy uziom należy wybrać materiał, który będzie charakteryzował się potencjałem elektrochemicznym podobnym do tego, jaki ma stal zatopiona w wilgotnym betonie. Najlepsza będzie do tego celu miedź, która ułożona w gruncie ma potencjał  $0,0 \div -0,2$  V, w związku z czym jej zastosowanie do połączeniu z uziomem fundamentowym jest najbardziej bezpieczne z punktu widzenia zagrożeń korozyjnych. W praktyce, dzięki osiągnięciom technologicznym ostatnich kilku lat, oznacza to możliwość zastosowania zamiennie, stalowych bednarek i prętów pomiedziowanych elektrolitycznie z powłoką ochronną miedzi o grubości min. 70  $\mu$ m, których wytrzymałość mechaniczna jest wyższa niż całkowicie miedzianych, odporności korozyjna zbliżona, a cena - akceptowalna.



**Rys. 6.** Zagrożenie korozją elektrochemiczną w wyniku połączenia uziomu fundamentowego i uziomu zewnętrznego ze stali ocynkowanej

Zagadnienie to jest wyraźnie podkreślone zarówno w normach dotyczących instalacji elektrycznych jak i w normach ochrony odgromowej. W normie PN-EN 62305-3 [4] w punkcie E.5.4.3.2. *Uziomy fundamentowe* zamieszczono następujące zalecenie:

*„(...) Kolejny problem wiąże się z korozją elektrochemiczną pod wpływem prądów galwanicznych. Stal w betonie ma w przybliżeniu taki sam potencjał galwaniczny szeregu elektrochemicznego jak miedź w gruncie. A zatem, gdy stal w betonie jest połączona ze stalą w ziemi, to czynne napięcie galwaniczne, równe w przybliżeniu 1 V, powoduje przepływ prądu korozji w gruncie oraz mokrym betonie i rozpuszcza stal w gruncie.*

*Jeśli umieszczone w gruncie uziomy mają połączenie ze stalą w betonie, powinny być wykonane z miedzi, ze stali pokrytej miedzią lub ze stali nierdzewnej.”*

W podobny sposób problem ten został przedstawiony także w normie PN-HD 60365-5-54 [3] w punktach 542.2.5 oraz C.4, zgodnie z treścią których stali ocynkowanej nie wolno stosować na uziomy sztuczne łączone z uziomem fundamentowym, a dla zapewnienia dostatecznie długiej żywotności systemu uziemiającego należy stosować elementy wykonane ze stali nierdzewnej lub innej dobrze zabezpieczonej przy pomocy odpowiednich prefabrykowanych powłok chroniących przed wilgocią, czyli np.: stali pomiedziowanej elektrolitycznie.

Z tego wynika, że jako materiały na uziomy sztuczne w gruncie, łączone z uziomem fundamentowym, należy zatem stosować wyłącznie:

- stal nierdzewną,
- stal pomiedziowaną

- lub miedź.

Warto jednak pamiętać, że w warunkach beztlenowych (występujących w glinie) gatunki stali nierdzewnej zawierające nikiel będą korodowały równie szybko co i stal miękka (głównie gatunki austenityczne – stanowiące 65% zapotrzebowania światowego na stal nierdzewną lub gatunek duplex). Miedź jest jednym z najbardziej odpornych na korozję ziemną metali, jednak przy obecnych cenach miedzi oraz stali nierdzewnej najkorzystniejszym - pod względem ekonomicznym - rozwiązaniem jest stosowanie stali pomiedziowanej, czyli pokrytej cienką warstwą miedzi. Aktualnie dostępne na rynku są zarówno bednarki jak i pręty stalowe pomiedziowane elektrolitycznie spełniające wymagania normy PN-EN 62561-2 [9], która szczegółowo określa wymagania dotyczące materiałów dopuszczonych do stosowania na uziomy w gruncie, ich minimalnych wymiarów i powłok ochronnych.

## **6. Łączenie uziomu fundamentowego z instalacjami nad powierzchnią gruntu**

Nad powierzchnią gruntu z uziomu fundamentowego sztucznego wykonywane są wyprowadzenia do podłączenia głównej szyny uziemiającej rozdzielni GSU (będącej zazwyczaj jednocześnie główną szyną wyrównawczą GSW) i, jeżeli zostało to zaprojektowane, również do wzajemnego połączenia lokalnych szyn wyrównania potencjałów LSW, np. w pobliżu miejsca wprowadzenia do budynku metalowych rur lub innych instalacji przewodzących, podłączenia połączeń dylatacyjnych, czy też dla połączenia siatki wyrównania potencjałów pod podłogą techniczną pomieszczenia aparaturowego. Z uziomu należy również wyprowadzić przewody uziemiające do poszczególnych przewodów odprowadzających instalacji odgromowej lub do ich złącz kontrolno-pomiarowych, jeżeli dla obiektu przewiduje się montaż takiej instalacji.

Wszystkie wyprowadzenia z uziomu fundamentowego nad powierzchnią gruntu, a szczególnie te z nich, które są wykonywane wewnątrz budynku w pomieszczeniach suchych wydaje się, że nie są zagrożone przyspieszoną korozją, jak to ma miejsce, gdy układa się je w ziemi. Warto jednak na to zagadnienie spojrzeć bardziej kompleksowo i przeanalizować, jakiego rodzaju metale będą w takim przypadku łączone, aby zachować poprawność techniczną (zgodność elektrochemiczną metali) i w tym przypadku. Dotyczy to w szczególności połączeń wyprowadzanych z uziomu fundamentowego na zewnątrz budynku do podłączenia przewodów odprowadzających instalacji odgromowej, gdzie obecność atmosfery wilgotnej nawet nad powierzchnią gruntu jest łatwa do przewidzenia. Warto w tym miejscu przypomnieć, że na przewody instalacji odgromowej montowane w powietrzu (zwody i przewody odprowadzające) można stosować następujące metale [4]:

- miedź,
- stal pomiedziowaną elektrolitycznie,

- stal ocynkowaną ogniowo,
- stal nierdzewną,
- aluminium
- oraz ołów.

Kwestia doboru na podstawie aktualnych norm [3,4] materiału łączącego te metale z przewodnikami zatopionymi w betonie (sztucznego uziomu fundamentowego) nie jest niestety taka prosta, jakby można było oczekiwać od dokumentów normalizacyjnych. Właściwy dobór pozostawia się projektantowi, który powinien w tym zakresie posiadać właściwą wiedzę, jednak, mając na względzie określone trudności związanej z takim doбором (brak praktyki projektowej w tym zakresie i zbyt duża liczba możliwych skojarzeń materiałów), w celu uniknięcia błędów warto ograniczyć się przy projektowaniu do przypadków rzeczywiście występujących w naszych krajowych uwarunkowaniach na placu budowy.

W Polsce materiałem stosowanym powszechnie na przewody zewnętrznej instalacji odgromowej jest obecnie stal ocynkowana ogniowo. Zastosowanie do jej bezpośredniego połączenia z uziomem fundamentowym również przewodu ze stali ocynkowanej, co jak już omówiono jest codzienną praktyką, należy uznać za rażący błąd z uwagi na oczywistą korozję elektrochemiczną w miejscu wyprowadzenia takiego materiału z betonu. W normie odgromowej [4] można przecież znaleźć także zapis, który zawiera dodatkową wskazówkę: *„ocynkowana stal poza betonem będąca w kontakcie ze stalą zbrojeniową w betonie może w pewnych okolicznościach spowodować uszkodzenie betonu”*. Z podobnych względów nierozsądnym byłoby także używanie dla tego celu przewodów aluminiowych, czasami używanych do budowy instalacji odgromowej, lecz niezalecanych do stosowania w żelbecie tak jak i ołów, który w Polsce nie jest stosowany w instalacjach odgromowych, a jego umiejscowienie w normie odgromowej bez specjalnego uzasadnienia, polskiemu inżynierowi może wydać się nadużyciem, jeśli weźmiemy pod uwagę codzienną praktykę projektową i instalacyjną [4].

Czasami do budowy instalacji odgromowych stosowana jest także miedź (najczęściej w obiektach zabytkowych oraz w rezydencjach) i rzadko: stal nierdzewna (np. w elektrowniach wodnych). Są to materiały „bezpieczne” przy łączeniu z uziomem fundamentowym.

Dużą zmianą na rynku jest wprowadzenie w ostatnich latach stali pomiedziowanej elektrolitycznie i zaraz potem - po potwierdzeniu jej doskonałych właściwości mechanicznych i elektrycznych - do dokumentów normalizacyjnych, co spotkało się z powszechnym zainteresowaniem w środowisku budowlanym, które przerodziło się dzisiaj w rzeczywisty boom na ten rodzaj materiału powszechnie wykorzystywany zarówno do budowy instalacji odgromowych jak również systemów uziemiających, niekorodujących przy połączeniu z uziomem fundamentowym.

## **7. Przykłady spotykanych błędów projektowych**

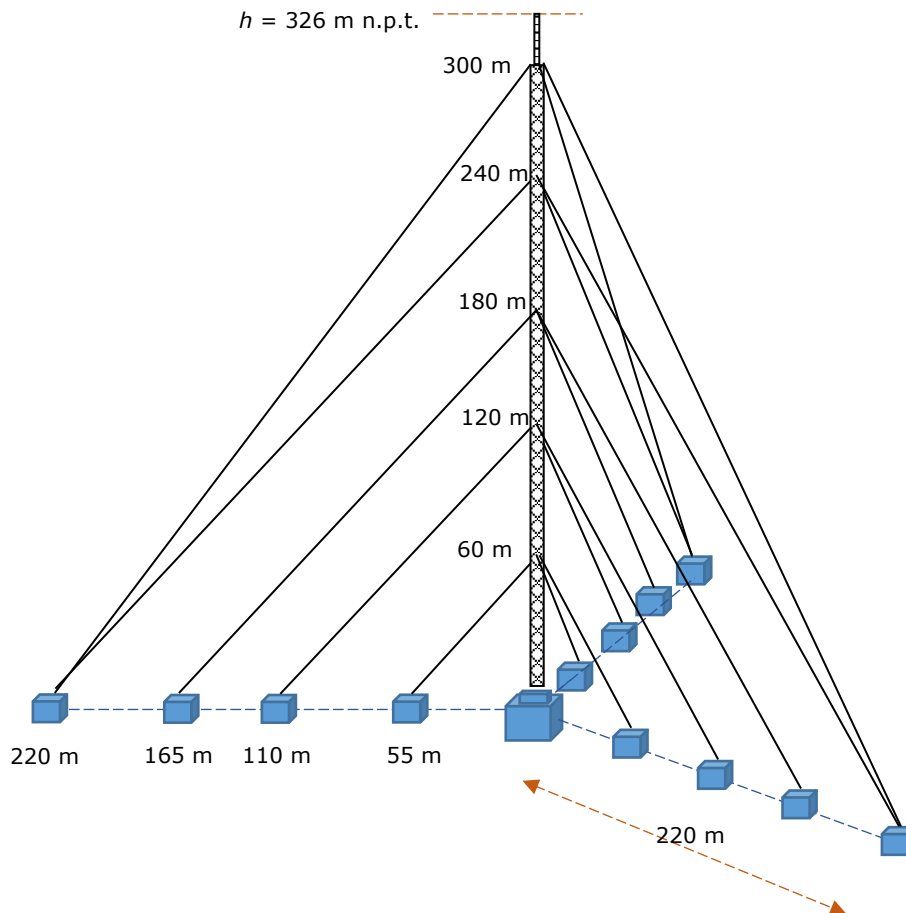
Przeгляд projektów, dokumentacji powykonawczych oraz wizja lokalna współczesnych obiektów pokazuje, iż jednym z najważniejszych błędów popełnianych przez projektantów i wykonawców wykorzystujących uziomy fundamentowe jest dobór nieodpowiednich materiałów na zewnętrzne uziomy sztuczne. Problem ten dotyczy wszystkich obiektów, w których występują większe objętości fundamentów łączonych z uwagi na zagrożenie piorunowe z zewnętrznymi elementami instalacji odgromowej. Odnosi się to często do obiektów mających duże znaczenie dla gospodarki, wśród których warto wyróżnić obiekty energetyki oraz radio- i telekomunikacji, w przypadku których dbałość o jakość i trwałość systemów uziemiających powinna podlegać szczególnemu nadzorowi.

### **7.1 Obiekty radiokomunikacyjne**

Obiekt radiokomunikacyjny to doskonały przykład, gdzie konieczne jest wykorzystanie uziomów fundamentowych z zewnętrznymi uziomami sztucznymi. Ilustracja takiego obiektu przedstawiająca największy wśród obiektów radiokomunikacyjnych, czyli radiowo-telewizyjne centrum nadawcze (RTCN) widoczna jest na rys. 7. Na rysunku widać szereg fundamentów: główny w postaci stopy fundamentowej pod stalowym trzonem masztu antenowego oraz fundamenty zakotwień licznych odciągów masztu. Wszystkie fundamenty z zasady łączy się w ziemi bednarkami stalowymi ocynkowanymi dla uzyskania niskorezystancyjnego układu uziomów. Tworzą one uziom promienisty ułożony wzdłuż linii odciągów z centralnym punktem zlokalizowanym pod masztem uzupełniony o uziom otokowy obiektu łączący wzdłuż ogrodzenia konstrukcje lamp oświetlenia ulicznego. Związane to jest ze stosunkowo znaczną częstotliwością bezpośrednich wyładowań w takie maszty i koniecznością bezpiecznego rozproszenia prądów piorunowych w otaczającym maszt gruncie.

Na rysunku 8. przedstawiono przykład bednarki wykonanej ze stali ocynkowanej, która została wykorzystana jako dodatkowy uziom poziomy dla uziomu fundamentowego wysokiego masztu w takim obiekcie radiowo-telewizyjnym (rys. 8). Z udostępnionej informacji wynikało, że po kilku latach funkcjonowania obiektu pojawiły się problemy z występowaniem zakłóceń sygnałów radiowych. W poszukiwaniu przyczyn takiego stanu rzeczy uwaga analizujących skierowała się m.in. na rozbudowany układ uziomów. Po wykonaniu wrywkowego odkopania części uziomów stwierdzono silną korozję złącz skręcanych w miejscach skrzyżowań bednarki ze stali ocynkowanej. Zaawansowany stan korozji, widoczny na rys. 8, bednarka osiągnęła już po 12 latach.





**Rys. 7.** Szkic rozmieszczenia uziomów fundamentowych naturalnych z zakotwieniami odciągów masztu



**Rys. 8.** Skorodowany uziom otokowy obiektu radiowo-telekomunikacyjnego po 12 latach eksploatacji (za zgodą RST sp. j.) [9]

Przyczyn korozji należy upatrywać głównie w braku zgodności stali ocynkowanej zastosowanej na elementy uziomu powierzchniowego z potencjałem elektrochemicznym fundamentów masztu. Kłopotów można w takim przypadku uniknąć stosując się zasad dobrze przedstawionych w normie odgromowej PN-EN 62305-3, szczególnie opisanych w niniejszym artykule. Zastosowanie bednarki

połączonych w miejscach skrzyżowań i połączeń zgrzewaniem egzotermicznym rozwiązałyby wieloletnie problemy z obsługą tego obiektu.

## 7.2 Słupy energetyczne

W wytycznych projektowania napowietrznych linii energetycznych WN [12] grup energetycznych można znaleźć między innymi następujące zapisy:

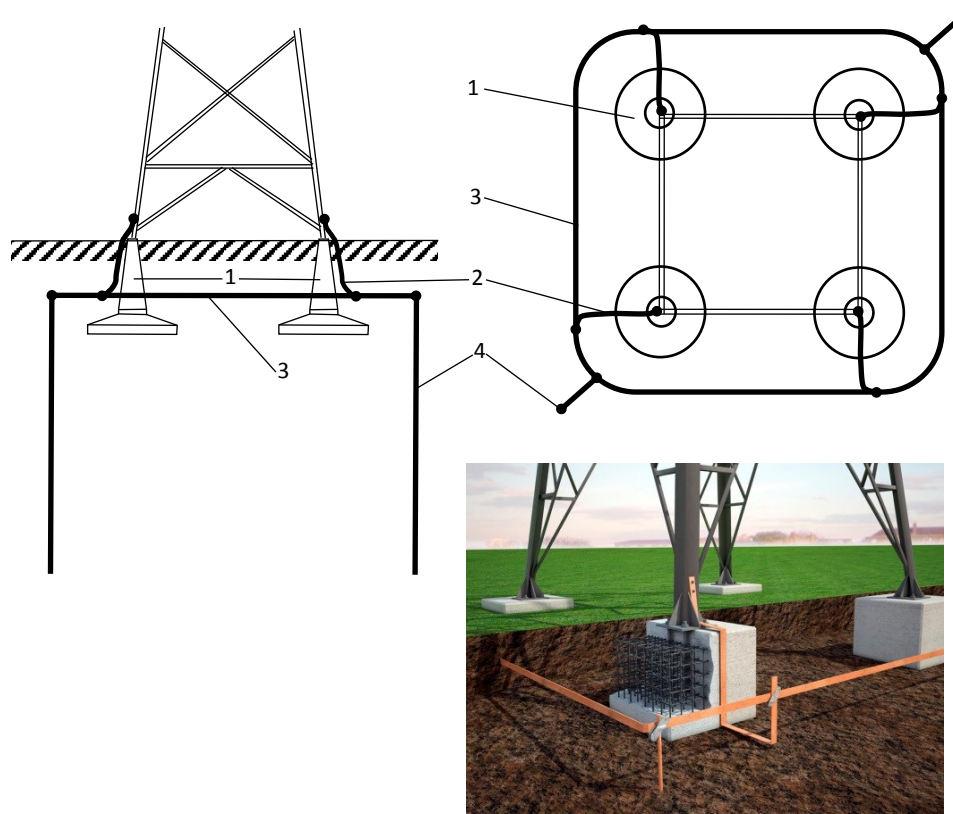
*„Dla słupów linii należy zawsze wykonać układ uziemiający. Dla słupów wykonanych z materiałów przewodzących należy wykorzystywać posadowienia (fundamenty) słupów, konstrukcje wsporcze słupów, a także zakopane części słupów, jako tzw. uziomy naturalne oraz instalować dodatkowo uziomy sztuczne”*

Pomimo tego, że w tych samych wytycznych znajdują się zapisy wspominające o zagrożeniu korozją elektrochemiczną w przypadku łączenia miedzi lub stali pomiedziowanej ze stalą ocynkowaną, to nie ma tam żadnych wytycznych odnoszących się do właściwego doboru metali na uziomy, w tym zakazu stosowania stali ocynkowanej na uziomy sztuczne instalowane wokół słupów, elementy konstrukcji których zaleca się wykorzystywać jak część układu uziomów. Łatwo zrozumieć przyczynę takiej sytuacji biorąc pod uwagę ogromną liczbę słupów energetycznych linii WN. Stosowanie stali ocynkowanej na uziomy sztuczne łączone z fundamentem na etapie budowy z pewnością związane jest z niższymi kosztami. Oszczędności te mogą jednak okazać się pozorne po pewnym czasie, gdy stal ocynkowana w wyniku połączenia ze stalą fundamentów ulegnie przyspieszonej korozji i konieczna będzie wymiana systemu uziemiającego.

Stąd łatwo wysnuć wniosek, że zapisy nakazujące wykorzystanie fundamentów jako uziomu naturalnego powinny być każdorazowo łączone z zakazem wykorzystywania stali ocynkowanej na uziomy sztuczne w gruncie.

Na rys. 9 przedstawiono przykład projektu uziemienia słupa energetycznego WN. Stal zbrojeniowa stóp fundamentowych słupa łączy się w takim przypadku z otokowym uziomem sztucznym poprzez konstrukcję słupa i przewody uziemiające. Zastosowanie w takim przypadku stali ocynkowanej na uziom sztuczny wokół słupa powoduje powstanie ogniwa galwanicznego i prowadzi do przyspieszonej korozji uziomu sztucznego.

Analogiczna sytuacja występuje także w przypadku budynków, w których stopy fundamentowe stalowych konstrukcji wsporczych, wykorzystywanych często także jako naturalne przewody odprowadzające, łączone są z uziomem sztucznym.



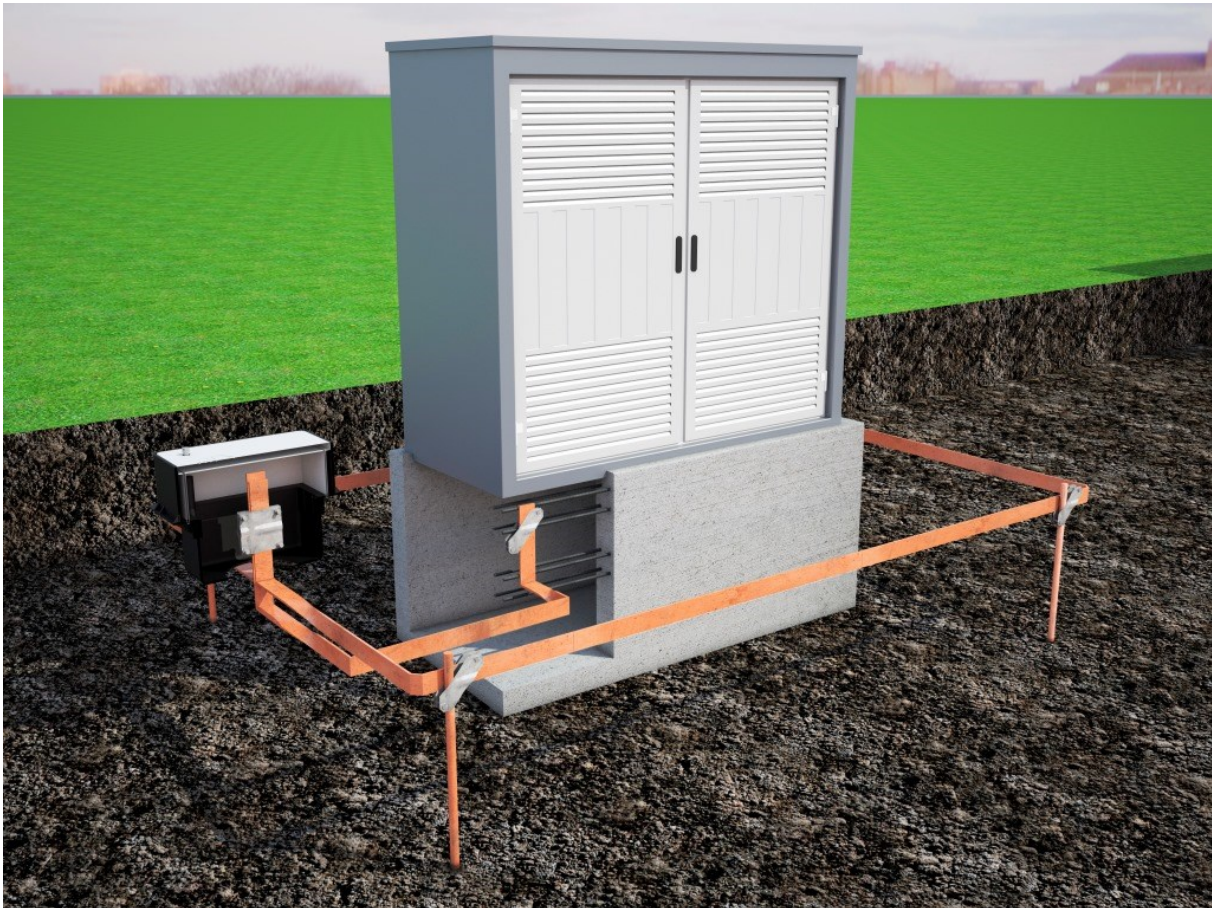
**Rys. 9.** Uziemienie słupa energetycznego WN; 1 – fundament słupa; 2 – przewód uziemiający konstrukcję słupa; 3 – poziomy uziom otokowy; 4- uziom pionowy

### 7.3 Kontenerowe stacje transformatorowe

Analogiczny problem, występujący przy uziemianiu słupów, dotyczy również kontenerowych stacji transformatorowych. Producenci często dostarczają takie stacje w obudowie betonowej, do której wstawia się transformator, podłącza kable i układ uziemiający. Punkt uziemiający takich stacji łączony jest ze zbrojeniem fundamentu posadowienia kontenera. W związku z tym otok wokół stacji należy wykonać z odpowiednich materiałów zgodnie z wyżej opisanymi zaleceniami. Zdarza się jednak, że sami producenci, prawdopodobnie z braku wiedzy w danym zakresie, umieszczają w instrukcji stacji kontenerowej zalecenie wykonanie uziomu sztucznego w gruncie z bednarki ocynkowanej.

Dla stacji transformatorowych zasilających pobliskie budynki, np.: hale przemysłowe zaleca się dodatkowo łączenie zewnętrznego uziomu sztucznego z uziomem fundamentowym pobliskiego budynku, co jest kolejnym argumentem przeciwko stosowaniu w takim przypadku stali ocynkowanej.

Na rys. 10 przedstawiono przykład kontenerowej stacji transformatorowej z prawidłowo wykonanym uziomem sztucznym w postaci otoku i dodatkowych prętów pionowych wykonanych ze stali pomiedziowanej.



**Rys. 10.** Uziom sztuczny kontenerowej stacji transformatorowej posadowionej na żelbetonowej podstawie pograżonej w gruncie wykonany z bednarki pomiedziowanej ze złączem kontrolno-pomiarowym w skrzynce plastikowej i wykorzystaniem zacisków ze stali nierdzewnej (za zgodą CBM Technology)

#### 7.4 Farmy wiatrowe

Problem z doбором nieodpowiednich materiałów dotyczy również farm wiatrowych. W tym przypadku uwaga powinna być udzielona nie tylko materiałom stosowanym na dodatkowe uziomy otokowe układane w gruncie poza fundamentem posadowienia konstrukcji nośnej (wieży), ale także przewodom, które łączą ze sobą poszczególne wieże farmy i stację transformatorową.

Fundamenty wiatraków osiągają imponujące wymiary, gdyż ich średnice dochodzą nawet do 20 m i ze względu na niezbędną wytrzymałość mechaniczną wymagają stosowania znacznej liczby prętów zbrojenia (rys. 11.). Ma to istotne znaczenie z punktu widzenia niebezpieczeństwa wystąpienia korozji, gdyż za kryterium znaczącego zagrożenia korozyjnego uważa się wartość stosunku pola powierzchni elektrody anodowej do pola powierzchni elektrody katodowej  $> 100$  [6] przy różnicy potencjałów metali tworzących ogniwo korozyjne przekraczającą 0,1 V. W takim przypadku, ze względu na bardzo duży stosunek pola powierzchni styku stali zbrojeniowej wieży farmy wiatrowej z betonem do pola powierzchni styku z

gruntem dodatkowych uziomów otokowych, zastosowanie stali ocynkowanej prowadziłyby do jej bardzo szybkiej korozji elektrochemicznej.



(<http://www.horanengineering.com>)

(za zgodą CBM Technology)

**Rys. 11.** Zbrojenie fundamentu elektrowni wiatrowej

Rozległe farmy wiatrowe wymagają nawet dziesiątek kilometrów przewodów uziemiających łączących wzajemnie poszczególne konstrukcje. Do tego celu wykorzystane mogą być linki lub przewody okrągłe o odpowiednim przekroju. Przy tak dużym zapotrzebowaniu materiałowym najlepszym rozwiązaniem z ekonomicznego punktu widzenia są obecnie druty stalowe pomiedziowane (najczęściej stosowane są druty o średnicy  $\Phi$  8 mm z powłoką miedzi 250  $\mu$ m lub o średnicy  $\Phi$  10 mm z powłoką miedzi 70  $\mu$ m), gdyż drut pomiedziowany jest w przybliżeniu dwukrotnie tańszy niż odpowiedni drut miedziany. W związku z tym efekt ekonomiczny stosowania w fermach wiatrowych stali pomiedziowanej jest bardzo odczuwalny.

## 8. Podsumowanie

Uziomy fundamentowe ze względu na swoje właściwości elektryczne stanowią bardzo korzystne, bo skuteczne i tanie rozwiązanie dla potrzeb uziemienia. Aby jednak taki uziom spełniał stawiane mu wymagania musi być wykonany zgodnie z normami, a szczególną uwagę należy zwrócić na prawidłowe i trwałe wzajemne połączenie poszczególnych elementów jego konstrukcji. Zaleca się wykonywanie sztucznych uziomów fundamentowych w postaci przewodu umieszczonego na obwodzie fundamentu i połączonego ze stalą zbrojeniową. W sytuacji, gdy sam uziom fundamentowy jest niewystarczający dla spełnienia stawianych mu wymagań (kryterium wymiarów geometrycznych lub jego rezystancji) należy go rozbudować o dodatkowe uziomy sztuczne. Przy łączeniu konstrukcji uziomów fundamentowych z elementami zewnętrznymi, szczególnie tymi umieszczonymi pod ziemią należy bezwzględnie przestrzegać zaleceń normatywnych odnośnie do poprawnego doboru materiałów na takie połączenia jak również same uziomy

sztuczne, ale również właściwego sposobu realizacji tych połączeń poprzez spawanie, a jeszcze lepiej za pomocą zgrzewania egzotermicznego (za wyłączeniem rozłącznych złącz kontrolno-pomiarowych) Dodatkowe uziomy sztuczne łączone z uziomem fundamentowym należy wykonywać wyłącznie z materiałów, których potencjał elektrochemiczny w gruncie jest zbliżony do potencjału stali w betonie. W warunkach polskich należy stosować w tym celu miedź, stal nierdzewną lub stal pomiedziowaną. Wykonanie systemu uziemiającego z zachowaniem tych reguł zapewnienia jego bardzo dużą trwałość.

Szczególną uwagę należy zwracać również na odpowiednie udokumentowanie wykonania uziomu fundamentowego sztucznego zgodnie z normami oraz na jakość jego połączeń ze stalą zbrojeniową, co powinno być zamieszczone w dokumentacji powykonawczej.

Kontrola właściwego wykonania uziomu fundamentowego i dopuszczenia go do eksploatacji leży w gestii kompetentnego inspektora nadzoru branży elektrycznej.

## Literatura

- [1] IEEE Std 142: 1991 Grounding of Industrial and Commercial Power Systems
- [2] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690)
- [3] PN-HD 60364-5-54:2011 Instalacje elektryczne niskiego napięcia -- Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego -- Układy uziemiające i przewody ochronne
- [4] PN-EN 62305-3:2011 Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia
- [5] Wołkowiński K.: Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych. Warszawa, WNT 1967 r.
- [6] Musiał E.: Uziomy fundamentowe i parafundamentowe. Miesięcznik SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2011, nr 143, s. 3-33
- [7] Ochrona elektrochemiczna przed korozją. Teoria i praktyka. Praca zbiorowa, WNT, Warszawa 1971
- [8] PN-EN 62561-1: Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC). Część 1: Wymagania dotyczące elementów połączeniowych
- [9] PN-EN 62561-2: Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC). Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów
- [10] M.Zielenkiewicz, K.Aniserowicz: Ekspertyza Nr 01/03/2000 na temat: Ocena stanu zagrożenia przepięciowego i piorunowego Radiowo-Telewizyjnego Centrum Nadawczego Lublin-Piaski. Centrum Ochrony przed Przepięciami i Zakłóceniami Elektromagnetycznymi. Białystok, marzec - kwiecień 2000 r.
- [11] ZHANG Y., LI Q.: Electrochemical study on semiconductive properties of the passive film on rebar in concrete. Univ. SCIENCE A, 2006, no. 7(8), pp.: 1447-1452
- [12] PN-EN 50341-3-22:2010P: Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV. Część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych

- [13] Linia napowietrzna 400 kV – Uziemienia, Standardowe Specyfikacje Techniczne, Polskie Sieci Energetyczne, luty 2014
- [14] Zielenkiewicz M., Maksimowicz T.: Zalecenia norm dotyczące materiałów stosowanych na uziomy sztuczne łączone z uziomem fundamentowym. elektro.info nr 4, 2013, s.34
- [15] Zielenkiewicz M., Maksimowicz T., Marciniak R.: Instalacje uziemiające – zalecenia norm. Miesięcznik SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2015, nr 184–185, s. 67-33