

*Centrum Ochrony
przed Przepięciami i Zakłóceniami Elektromagnetycznymi
w Białymstoku*



Uziom fundamentowy - projektowanie i budowa zgodnie z Polskimi Normami

Opracowanie:

dr inż. Tomasz Maksimowicz

RST Sp. z o.o.

15-620 BIAŁYSTOK
ul. Elewatorska 17/1

tel.: 792 350 100

www.rst.pl

e-mail: rst@rst.pl



Białystok, styczeń 2021 r.

1. Wstęp

W artykule przedstawione zostaną właściwości uziomu fundamentowego oraz podstawowe zasady, jakie należy przestrzegać przy jego budowie. Przykłady rozwiązań omówione zostaną na podstawie porównania budowy łąw, płyt i stóp fundamentowych. Jako dokumenty odniesienia zastosowane będą normy krajowe będące przywołaniem standardów międzynarodowych. Kwestie, czy normy są obowiązkowe, czy też nie, zostaną pominięte – norma stanowi zawsze zbiór dobrej wiedzy technicznej, który został ogólnie przyjęty do stosowania i powinien stanowić wykładnik dla prawidłowo wykonanej inwestycji. Temat uziomu fundamentowego poruszany był w licznych publikacjach [1-3], a zasady jego wykonania są szczegółowo opisane w normach [4, 5], mimo to, w projektach i na placach budów spotyka się bardzo często powtarzające się błędy. Niniejszy materiał ma na celu omówienie podstawowych zasad prawidłowego wykonywania uziomów fundamentowych, przede wszystkim w aspekcie praktycznym, z licznymi przykładami i z pominięciem rozważań naukowych oraz wywodów teoretycznych.

2. Czym jest uziom fundamentowy?

Uziom fundamentowy, w ogólnym przypadku, można zdefiniować jako układ wzajemnie połączonych przewodów, umieszczonych w betonie stanowiącym fundament obiektu budowlanego, który został wykorzystany do celu uziemienia instalacji elektrycznych, wyrównania potencjałów lub do ochrony odgromowej. Beton stosowany na fundamenty charakteryzuje się rezystywnością o wartościach rzędu $200 \Omega\text{m}$ [1, 3, 4]. Grunty o takiej rezystywności uznaje się za dobrze przewodzące i korzystne z punktu widzenia uzyskania małej wartości rezystancji uziemienia. A zatem betonowa otulina zapewnia nie tylko ochronę przed korozją, ale także zwiększa i poprawia powierzchnię styku uziomu z gruntem, w jakim jest on posadowiony.

Uziomy fundamentowe naturalne stanowią konstrukcje, w których do uziemienia wykorzystuje się naturalne zbrojenie fundamentów. Stalowe zbrojenie może być wykorzystane do celów uziemienia, tylko jeżeli przed zalaniem betonu zostało odpowiednio wykonane i poprawnie połączone. Typowe połączenia budowlane wykonywane za pomocą drutu wiązałkowego lub spawane punktowo charakteryzują się niedostateczną wytrzymałością mechaniczną (mogą ulec przerwaniu przy zalewaniu betonem), przez co nie gwarantują ciągłości połączeń na całym obwodzie. Z tego względu w obiektach budowlanych zaleca się wykonywanie **uziomów fundamentowych sztucznych**, czyli takich, w których w betonie umieszczony został specjalny przewód lub układ przewodów przeznaczonych

do celów uziemienia, a nie jako element konstrukcyjny. Przewód ten dla poprawy właściwości należy także w miarę możliwości dodatkowo łączyć ze zbrojeniem konstrukcyjnym betonu.

Norma zharmonizowana PN-HD 60364-5-54 [5] wyróżnia ponadto **uziom fundamentowy zabetonowany** oraz **uziom fundamentowy umieszczony w gruncie**. Ten pierwszy dotyczy przypadków wykorzystania zbrojenia i wykonania uziomów fundamentowych sztucznych. Uziom fundamentowy w gruncie na ogół wykonywany jest poniżej fundamentu, w przypadku gdy izolacja ogranicza kontakt z gruntem rodzimym.

3. Dlaczego uziom fundamentowy?

Fundament budynku może stanowić podstawę nie tylko dla jego posadowienia, ale także dla instalacji elektrycznych. Najczęściej przywoływany argument za wykonaniem uziomu fundamentowego to § 184. Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dziennik Ustaw Nr 75 Poz. 690) [6]. Zgodnie z tym paragrafem „jako uziomy instalacji elektrycznej należy wykorzystywać metalowe konstrukcje budynków, zbrojenia fundamentów oraz inne metalowe elementy umieszczone w niezbrojonych fundamentach stanowiące sztuczny uziom fundamentowy”. Pomimo licznych zmian wprowadzanych do tego rozporządzenia (według stanu w dniu pisania artykułu, ostatnie w 2020 r. Dz.U. 2020 poz. 1608), treść tego paragrafu nie uległa zmianie. Poza rozporządzeniem, do którego odwołuje się prawo budowlane, wykonanie uziomu fundamentowego zalecają także norma zharmonizowana PN-HD 60364-5-54 (załącznik C) [5] oraz norma dotycząca ochrony odgromowej PN-EN 62305-3 (pkt. E.4.3.9) [4].

Pomijając kwestie norm i rozporządzeń, warto zdawać sobie sprawę z praktycznych korzyści, które mogą wynikać z zastosowania uziomu fundamentowego. Przede wszystkim, okres eksploatacji takiego uziomu będzie taki sam jak budowanego obiektu (w zakresie części zabetonowanej). Ze względu na swoją powierzchnię, uziom fundamentowy zapewnia pewny kontakt z otaczającym gruntem i daje minimalną wartość rezystancji uziemienia, jaką można uzyskać na tej powierzchni z zastosowaniem uziomów poziomych. W większości przypadków, zapewnia stałą i stabilną wartość rezystancji uziemienia, niezależnie od pory roku i warunków atmosferycznych. W rozległych obiektach, lub w przypadku zastosowania ochrony odgromowej, zapewnia bardzo dobre wyrównanie potencjałów wszystkich instalacji. I na koniec argument, który najczęściej przemawia do inwestora: nie wymaga dodatkowych prac ziemnych, a więc jest to najtańsza metoda na wykonanie układu uziemiającego w obiekcie budowlanym. Należy jednak pamiętać, że wszystkie te właściwości dotyczą przypadku, kiedy uziom fundamentowy został wykonany prawidłowo, przede wszystkim pod kątem jakości połączeń i doboru właściwych materiałów. Warto wiedzieć także, że

nie w każdym przypadku uziom fundamentowy może być wykorzystany, a w wielu przypadkach może on wymagać rozbudowy o dodatkowe uziomy sztuczne umieszczone obok fundamentu bezpośrednio w gruncie.

4. Budowa uziomu fundamentowego

4.1. Dobór materiałów

Zanim omówione zostaną zagadnienia związane z konstrukcją uziomu fundamentowego, na początku, należy omówić zasady doboru materiałów. Kwestia ta niestety jest często lekceważona i prowadzi do błędów popełnianych zarówno na etapie projektowania, jak i wykonawstwa.

Istnieje wiele opinii dotyczących materiału, z którego należy wykonać sztuczny uziom fundamentowy w postaci przewodów umieszczonych w betonie oraz wyprowadzenia przewodów uziemiających do instalacji elektrycznej lub urządzenia piorunochronnego. Elementy, które są całkowicie zalewane w betonie, tak samo jak pręty zbrojeniowe mogą być wykonane ze stali czarnej, tzn. ze stali bez antykorozyjnych powłok ochronnych takich jak cynk lub miedź. Otulina betonu, o ile jest dostatecznie gruba, zapewnia wystarczające zabezpieczenie antykorozyjne ze względu na swoje właściwości. Bednarki ze stali czarnej łatwiej jednak kupić u dystrybutorów wyrobów metalowych, niż w typowych hurtowniach elektrycznych. W projektach zagranicznych, szczególnie u naszych zachodnich sąsiadów, często spotyka się stosowanie przewodów ze stali nierdzewnej (StSt). Stosowanie stali ocynkowanej w betonie może być problematyczne ze względu na pewne sprzeczności i liczne ograniczenia wymieniane w normach. Z jednej strony dopuszcza się zastosowanie przewodów StZn jako sztuczny uziom fundamentowy (pkt E.5.6.2.2.2 PN-EN 62305-3) ale jednocześnie stosowanie stali ocynkowanej w betonie nie jest zalecane, ponieważ cynk szybko koroduje w kontakcie ze zbrojeniem, a w pewnych warunkach, może prowadzić nawet do uszkodzenia betonu (pkt E.4.3.4 PN-EN 62305-3) [4]. Dlatego też stosowanie przewodów StZn wymaga wnikliwej analizy i oceny wielu czynników zewnętrznych. W przypadku zastosowania stali pomiedziowanej elektrolitycznie (StCu) w normach nie ma zastrzeżeń, więc przewody StCu stanowiąc mogą alternatywę dla stali nierdzewnej zarówno pod względem ekonomicznym, jak i łatwości spawania. Wykorzystanie czystej miedzi (Cu), poza energetyką zawodową, nie ma z kolei uzasadnienia ekonomicznego, ani praktycznego – jest kosztowna i wyklucza łączenie do zbrojenia metodą spawania łukowego. Dobór materiałów ma dodatkowo szczególne znaczenie jeżeli występują przewody wyprowadzane z fundamentu bezpośrednio do ziemi, będące w praktyce przewodami uziemiającymi. **Przewody, które są wyprowadzane ze zbrojonego betonu bezpośrednio do ziemi, nie mogą być wykonane ze stali ocynkowanej (StZn).** Organicznie to, dotyczy to tak samo sztucznych uziomów otokowych i pionowych umieszczanych w gruncie, jeżeli są łączone

z uziomem fundamentowym. Choć jest to dobrze opisane, zarówno w normach elektrycznych (pkt. C.4 PN-HD 60364-5-54) [5], jak i odgromowych (pkt. E.5.4.3.2 PN-EN 62305-3) [4] to w dalszym ciągu popełniane są, w tym zakresie, błędy zarówno przez projektantów, jak i wykonawców. Pomijając kwestie teoretyczne dotyczące powstawiania różnicy potencjałów i korozji galwanicznej, należy sobie przede wszystkim uświadomić, że stal ocynkowana umieszczona w ziemi, połączona ze stalą w betonie (zbrojenie, uziom fundamentowy) narażona jest na przyspieszoną korozję i znacznie skrócony czas eksploatacji. Błędne, choć niestety często praktykowane, stosowanie przewodów StZn jako wyprowadzenia z fundamentu (przewody uziemiające) prowadzi będzie zatem do przedwczesnego przerwania ciągłości przewodów w gruncie i utraty uziemienia. Zgodnie z normami [4, 5] **wyprowadzenia z betonu oraz uziomy w gruncie powinny być wykonane z miedzi, stali pomiedziowanej lub stali nierdzewnej.** Najbardziej praktycznym rozwiązaniem jest zastosowanie stali pomiedziowanej, która może być bezproblemowo przyspawana do zbrojenia oraz jest znacznie tańsza niż czysta miedź i stal nierdzewna. Kwestie teoretyczne dotyczące zagadnień korozji w układach uziemiających opisane są m.in. w książce [7].



bednarka
stalowa pomiedziowana
StCu

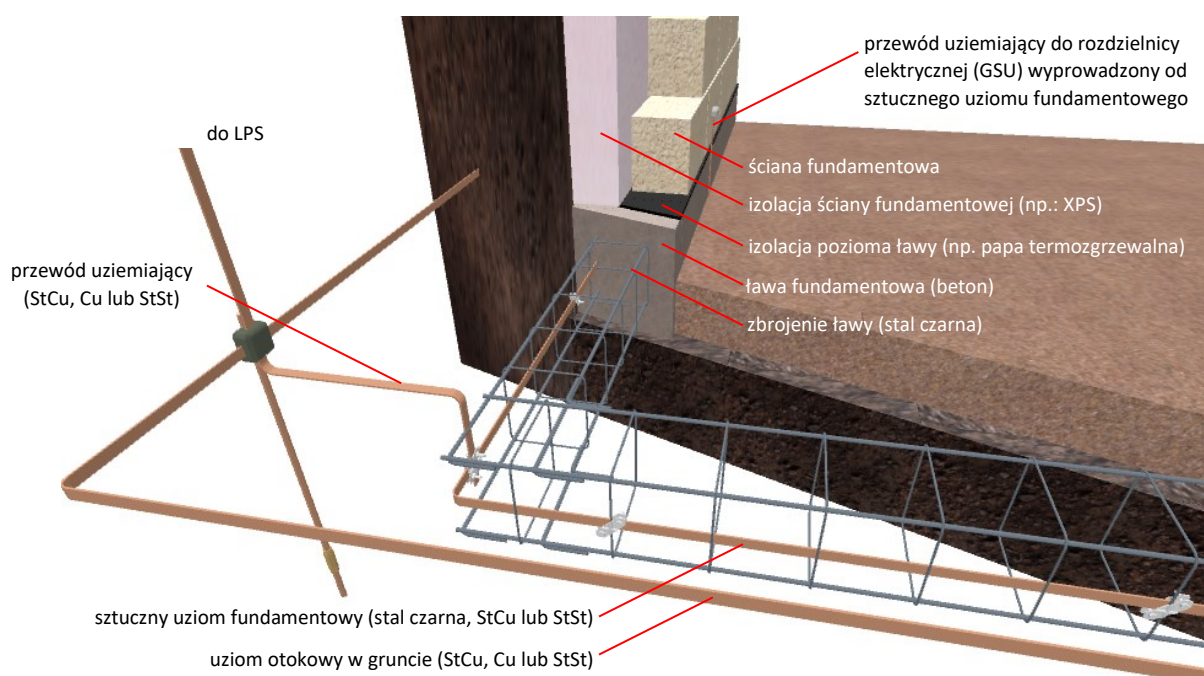
Rys. 1. Prawidłowy dobór materiałów uziomu fundamentowego: sztuczny uziom fundamentowy wykonany z bednarki ze stali czarnej, połączonej ze zbrojeniem oraz z wyprowadzeniem do ziemi przewodów uziemiających wykonanych z bednarki pomiedziowanej

Należy jednak mieć również świadomość, że zastosowany rodzaj materiału nie ma wpływu na wartość rezystancji uziemienia. Ta w praktyce, zależy wyłącznie od wymiarów geometrycznych uziomu oraz rezystywności gruntu. Rodzaj materiału wpływa natomiast, bardzo na okres eksploatacji uziomu,

czyli jego trwałość, a także na przewodność dla prądów piorunowych i zwarciovych. Odporność na korozję materiału w danym środowisku, decyduje zatem jak długo uzyskana wartość rezystancji uziemienia zostanie utrzymana.

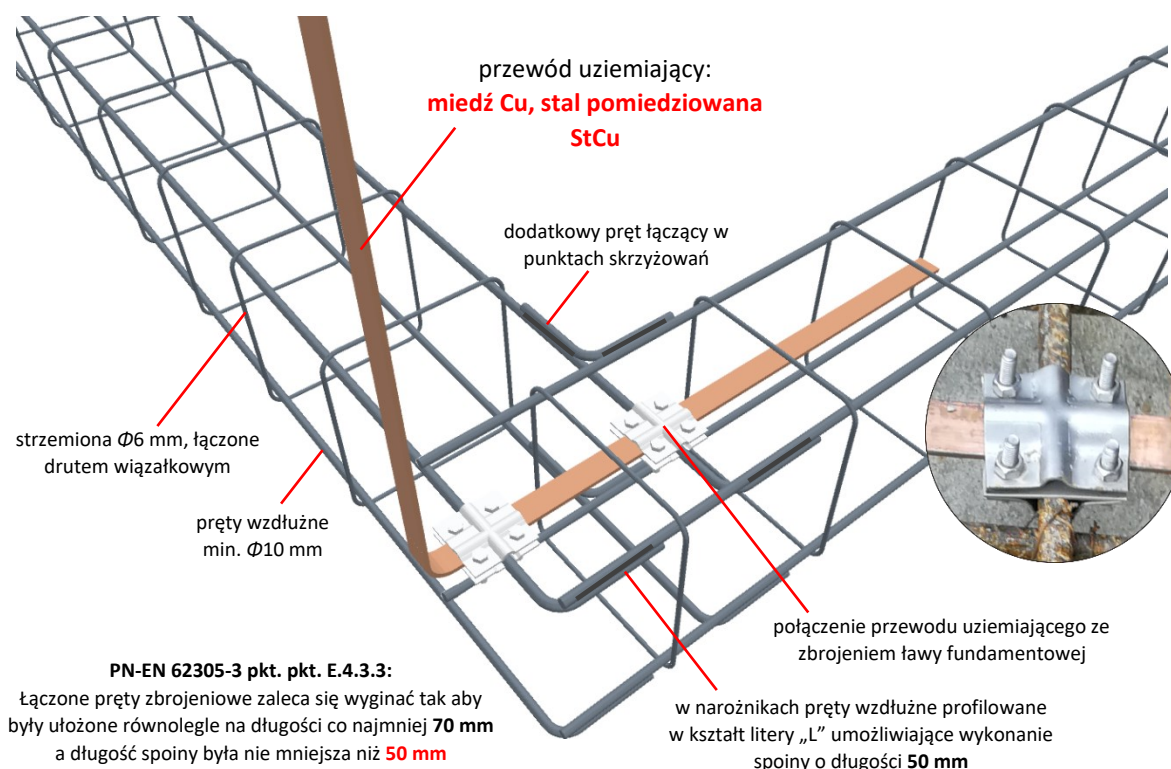
4.2. Ławy fundamentowe

Wykonanie uziomu fundamentowego jest najbardziej efektywne w przypadku budynków posadowionych na tradycyjnych ławach fundamentowych. Z punktu widzenia uziemień, główną zaletą ław jest wykorzystanie konstrukcji zbrojenia, głębokość posadowienia oraz najczęściej brak izolacji termicznej. Prace w takim przypadku, sprowadzają się przede wszystkim do zapewnienia ciągłości galwanicznej na całym obwodzie budynku i wyprowadzenia przewodów do podłączenia instalacji elektrycznej lub urządzenia piorunochronnego. Ławy fundamentowe wykonywane są pod ścianami nośnymi zewnętrznymi oraz wewnętrznymi stanowiącymi oparcie belek stropowych. Dno ławy wykonywane jest poniżej głębokości przemarzania gruntu (od 0,8 m do 1,4 m), co zapewnia, nie tylko pewne posadowienie budynku, ale także stabilność rezystancji uziemienia w całym roku bez względu na warunki atmosferyczne. Jest to dodatkowy argument za wykonaniem uziomu fundamentowego, zwłaszcza biorąc pod uwagę fakt, iż niektórych projektantów i wykonawców trudno przekonać do wykonywania uziomu otokowego na takiej głębokości.



Rys. 2. Uziom fundamentowy z wykorzystaniem zbrojenia ławy fundamentowej oraz rozbudową o dodatkowe uziomy w gruncie

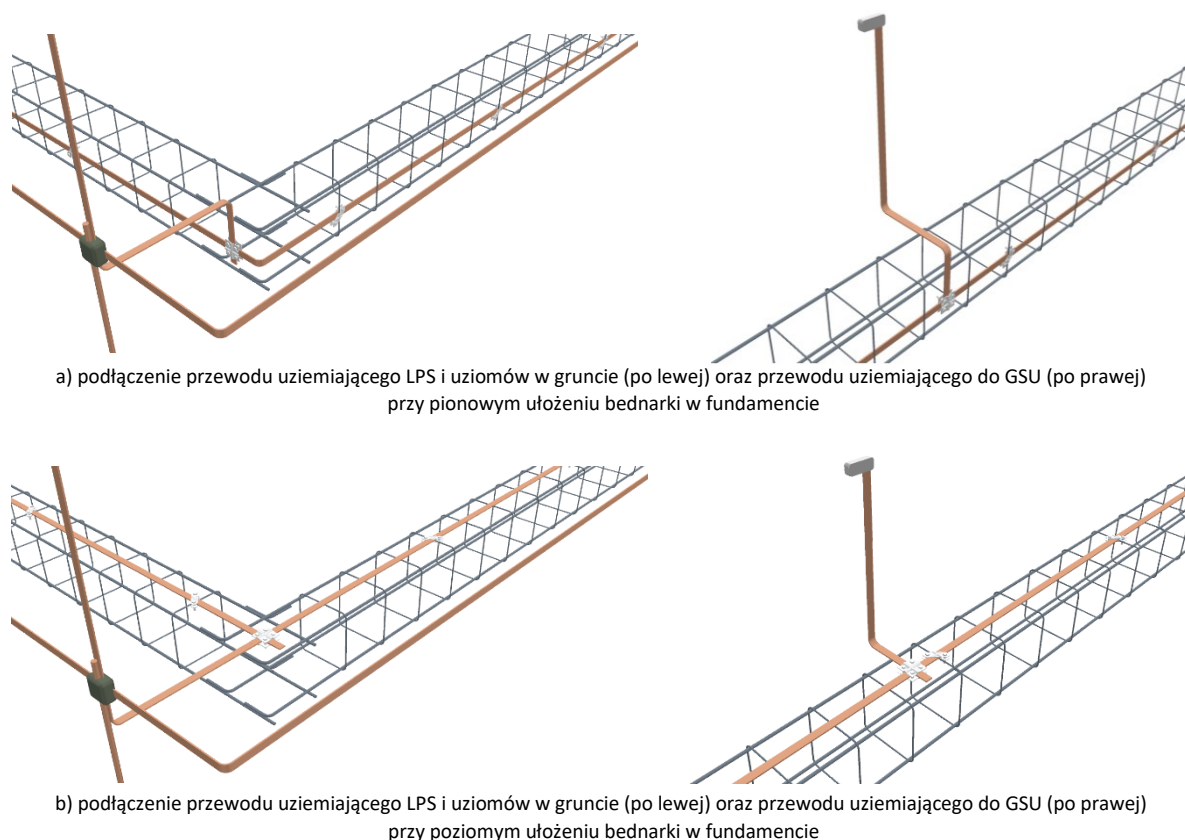
Typowe zbrojenie ław fundamentowych wykonywane jest najczęściej z 4 prętów o średnicy 12 mm układanych wzdłużnie, połączonych strzemionami z drutu o średnicy 6 mm w odstępach co 30 cm. Klasyczne połączenia „budowlane” wykonywane są za pomocą drutu wiązałkowego i spawania punktowego. Wzdłużne pręty zbrojeniowe o średnicy 12 mm (do celów uziemienia normy wymagają prętów o średnicy co najmniej 10 mm – Tablica 7. PN-EN 62305-3 [4]) mogą być wykorzystane jako uziom, ale jedynie pod warunkiem wykonania odpowiednich połączeń, zwłaszcza jeżeli przewiduje się ochronę odgromową budynku. Przy połączeniach spawanych, zgodnie z normami pręty w miejscach połączeń powinny być ułożone równoległe na odcinku co najmniej 70 mm, a długość spoiny powinna być nie mniejsza niż 50 mm (pkt. E.4.3.3 PN-EN 62305-3) [4]. Aby warunki te były spełnione, w narożnikach pręty zbrojeniowe należy wyginać pod kątem prostym w kształt litery „L” dla umożliwienia wykonania odpowiedniej długości spoiny – spawanie punktowe nie jest dopuszczalne. W punktach skrzyżowań do łączenia można wykorzystać dodatkowe pręty stanowiące łączniki. Przykład poprawnego łączenia prętów zbrojeniowych przedstawiono na Rys. 3. Jeżeli stosujesz uchwyty skręcane, to przewód uziemiający w takim przypadku należy łączyć za pomocą dwóch zacisków do różnych prętów zbrojenia (pkt. E.4.3.3 PN-EN 62305-3) [4].



Rys. 3. Łączenie spawane prętów zbrojeniowych wykorzystanych do budowy uziomu fundamentowego

Wykonanie sztucznego uziomu fundamentowego poprzez ułożenie bednarki w postaci zamkniętego pierścienia, mocowanej do prętów zbrojeniowych jest

rozwiązaniem bardziej niezawodnym i zalecanym. Największą zaletą ułożenia dodatkowego płaskownika jest jednoznaczność rozwiązania i łatwość stwierdzenia, że tak wykonana instalacja zostało specjalnie przygotowane do celów uziemienia. Jest to szczególnie korzystne gdy zbrojenie fundamentów jest bardzo złożone, ponieważ mamy wówczas większą powierzchnię całego uziomu i lepszy kontakt z betonem, a zatem i z gruntem. Praktyczne zalety takiego rozwiązania stanowią ponadto minimalna liczba połączeń i pewność ciągłości elektrycznej – uniezależniamy się tym samym od wytrzymałości mechanicznej połączeń spawanych, które źle wykonane, mogą ulec uszkodzeniu przy zalewaniu betonem. W przypadku większości domów jednorodzinnych, do ułożenia przewodu w ławie fundamentowej oraz wyprowadzenia przewodów uziemiających wystarczające będą 2-3 krążki bednarki (typowo ok. 30 m na krążek). Zarówno normy odgromowe (pkt. E.5.4.3.2 PN-EN 62305) [4], jak i te dotyczące instalacji elektrycznych (pkt. C.1 PN-HD 60364-5-54) [5] zwracają uwagę, aby przewód uziomu był ułożony tak, aby pokrywała go warstwa betonu o grubości co najmniej 50 mm, z każdej strony, w celu zapewnienia odpowiedniej odporności na korozję. Z tego samego powodu zbrojenia fundamentów przed zalaniem, należy instalować na wspornikach, aby zapewnić odpowiednią grubość otuliny betonowej także od spodu. Na Rys. 4. przedstawiono przykłady konfiguracji sztucznego uziomu fundamentowego. Przewody płaskie zaleca się układać pionowo (Rys. 2 i Rys. 4a), aby uniknąć powstawania komór powietrza niewypełnionych betonem (pkt. C.3.2 PN-HD 60364-5-54) [5]. Jeżeli bednarka układana jest „na płasko”, to zaleca się układać ją na górnej warstwie zbrojenia (Rys. 4b), gdzie łatwiej kontrolować odpowiednie zalanie betonem. Układanie przewodu na wierzchu zbrojenia ułatwia w istotny sposób wykonywanie wyprowadzeń przewodów uziemiających (Rys. 4b) oraz wszelkich innych połączeń. Takie rozwiązanie pozwala na zastosowanie jednego ciągłego odcinka bednarki na odległości między dwoma przewodami uziemiającymi wzdłuż jednego boku budynku, zapewniając ciągłość i redukując liczbę połączeń. Dla poprawy właściwości uziomu, bednarkę należy łączyć ze zbrojeniem w odstępach co 2 m (pkt. C.3.2 PN-HD 60364-5-54) [5]. Połączenia te można wykonać zarówno z zastosowaniem uchwytów skręcanych (np. uchwyty skośne), jak i poprzez spawanie. Bednarkę należy mocować, w miarę możliwości, do prętów wzdłużnych oraz do strzemion zbrojenia. Należy tu jednak zwrócić uwagę, aby wykorzystane strzemiona były dodatkowo przyspawane do prętów wzdłużnych, a nie łączone tylko drutem wiązałkowym. Zaleca się, aby wymiary pierścieni sztucznego uziomu fundamentowego nie przekraczały 20 m × 20 m (pkt. C.3.1 PN-EN 60364-5-54) [5]. W większych obiektach dla spełnienia tego warunku należy zatem wykonać dodatkowe połączenia poprzeczne tak, aby utworzone prostokąty miały zachowany wymiar.

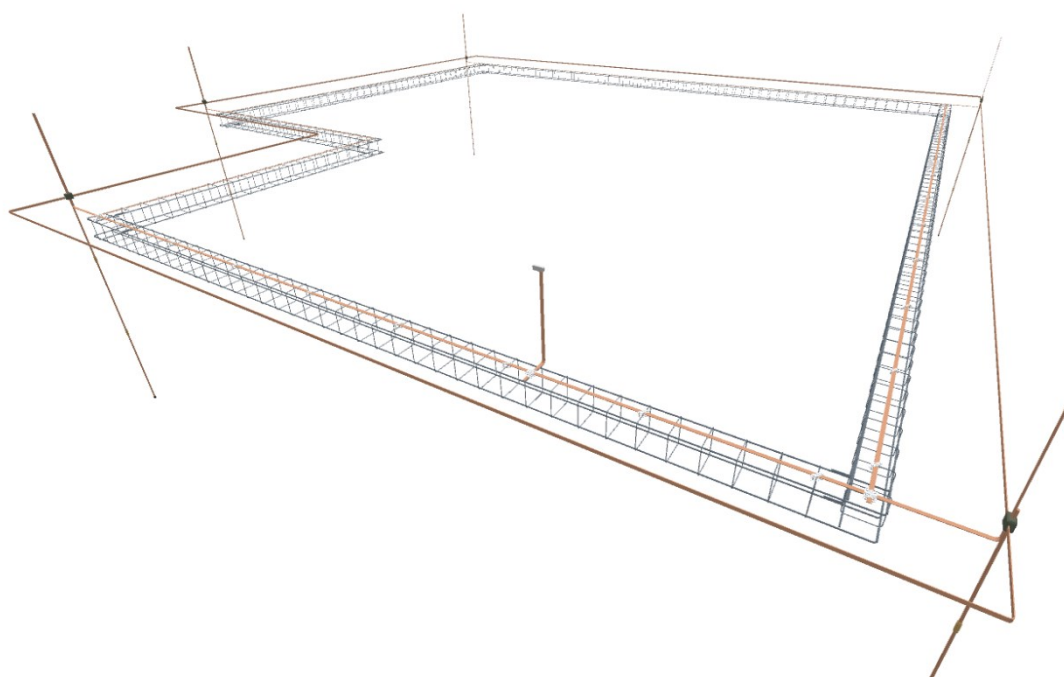


Rys. 4. Metody układania sztucznego uziomu w ławie fundamentowej oraz wyprowadzenia przewodów uziemiających do LPS, uziomów w gruncie oraz GSU

Powyższe wytyczne wykonania sztucznego uziomu fundamentowego lub inaczej uziomu fundamentowego zabetonowanego, mają uzasadnienie, jeżeli ławy nie są w pełni izolowane od gruntu. Chodzi tu oczywiście o izolację samych ław, a nie ścian fundamentowych, w przypadku których konieczna jest zarówno izolacja przeciwwilgociowa, jak i termiczna. Z punktu widzenia instalacji elektrycznych i kontaktu z gruntem najlepiej, gdy ławy nie mają żadnej izolacji przeciwwilgociowej i są wylewane bezpośrednio w wykopie lub szalunku z desek, bez żadnych dodatkowych zabezpieczeń. Często stosuje się jednak izolacje przeciwwilgociowe, zapobiegające chociażby mieszaniu się rodzimego gruntu z betonem lub jego nadmierne odwodnienie. Jeżeli takie folie nie są stosowane na wszystkich płaszczyznach ławy (np.: tylko zabezpieczenie powierzchni bocznych) to będzie ona miała w dalszym ciągu, na ogół, dobry kontakt z gruntem. Należy jednak być świadomym, iż rezystancja uziemienia fundamentu zabezpieczanego częściowo foliami może być znacznie większa w stosunku do wartości jaka byłaby uzyskana dla takiej samej ławy fundamentowej bez jakichkolwiek zabezpieczeń [1]. W budownictwie pojawia się coraz więcej produktów i rozwiązań, które mają na celu usprawnienie wykonywania fundamentów oraz zwiększenie efektywności energetycznej budynku. Przy projektowaniu uziomu fundamentowego należy rozważyć ewentualny wpływ takich rozwiązań na wypadkową wartość rezystancji uziemienia. Najlepszym przykładem są tzw. szalunki tracone,

które pozwalają, nie tylko, na sprawne formowanie łąwy fundamentowej, skracając znacząco czas pracy, ale jednocześnie mogą zapewniać izolację termiczną (np.: EPS, XPS). Z punktu widzenia uziemień szalunki tracone z izolacją termiczną ograniczają jednak w niedopuszczalny sposób kontakt fundamentu z gruntem rodzimym.

Jeżeli zastosowane środki przeciwwilgociowe lub termoizolacja ograniczają połączenie elektryczne fundamentu z gruntem, to konieczne jest wykonanie dodatkowego uziomu sztucznego w postaci otoku, uziomów pionowych lub konfiguracji mieszanej (uziom otokowy rozszerzony o uziomy pionowe Rys. 5). Uziom fundamentowy w takim przypadku (o ile połączony z uziomami sztucznymi w gruncie) może być wykorzystany do celów wyrównania potencjałów i podłączenia wewnętrznych instalacji elektrycznych.



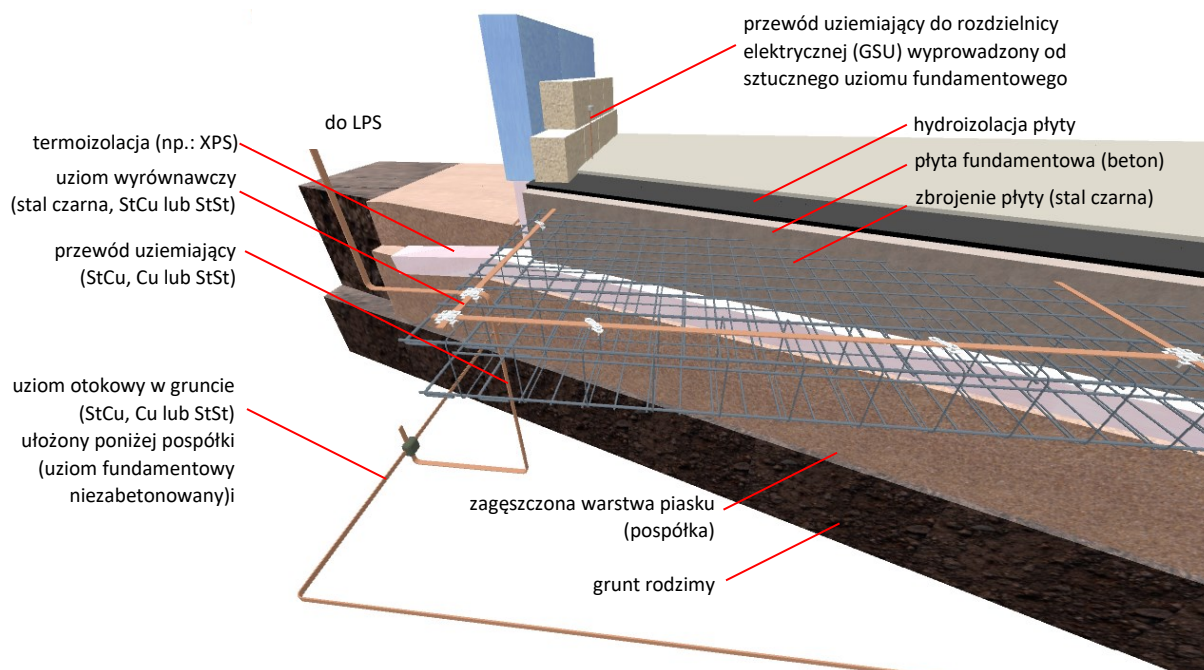
Rys. 5. Szkielet zbrojenia łąwy ze sztucznym uziomem fundamentowym rozszerzonym o dodatkowe uziomy w gruncie

4.3. Płyty fundamentowe

W ostatnich latach coraz częściej posadowienie budynków wykonuje się na płytach fundamentowych. To rozwiązanie posiada wiele zalet w stosunku do tradycyjnych łąw fundamentowych, ale należy być świadomym, że z punktu widzenia instalacji elektrycznych komplikuje, a w wielu przypadkach wręcz uniemożliwia wykonanie typowego uziomu fundamentowego. Problem stanowi przede wszystkim termoizolacja płyty, która jednocześnie stanowi izolację elektryczną względem gruntu rodzimego, a tym samym uniemożliwia wykorzystanie samej płyty jako uziomu fundamentowy. Kolejny problem to również dość płytkie posadowienie płyty, a zatem w gruncie o zwykle większej i mniej stabilnej wartości rezystywności.

W ogólnym przypadku przed wykonaniem płyty fundamentowej, w przygotowanym wykopie jest wyrównywana i ubijana warstwa piasku (pospółka), na której ewentualnie jest wylewana warstwa betonu (tzw. chudziak, który w wielu realizacjach jest pomijany przy odpowiednim zagęszczeniu podłoża), a następnie układana jest warstwa izolacji termicznej (np.: polistyren ekstrudowany o grubości co najmniej 12 cm) zabezpieczona folią stanowiącą hydroizolację (Rys. 6). Izolacja termiczna układana jest także po obwodzie, tworząc w ten sposób szalunek dla wylewanej płyty fundamentowej. Na tak przygotowanym podłożu wykonywane jest zbrojenie płyty w postaci siatki dwuwarstwowej góra-dół. Do tego celu stosuje się gotowe siatki zgrzewane lub siatka jest formowana z prętów łączonych drutem wiązałkowym i spawana punktowo. Zbrojenie najczęściej wzmacniane jest dodatkowo w miejscach, w których przewidziano ściany nośne lub inne elementy wsporcze. Grubość płyty fundamentowej wynosi przykładowo od 12 do 20 cm. W odróżnieniu od ław fundamentowych, jak podkreślono wcześniej, płyta wykonywana jest na znacznie mniejszej głębokości niemal na poziomie gruntu, dlatego wokół budynku na szerokości około 1 m wykonywana jest dodatkowa izolacja termiczna ograniczająca skutki przemarzania gruntu.

Ze względu na pełną izolację termiczną płyta fundamentowa samodzielnie nie może być wykorzystana jako uziom budynku. W takich konstrukcjach należy zatem wykonać sztuczny uziom fundamentowy w warstwie chudego betonu lub uziom w gruncie czyli uziom fundamentowy niezabetonowany (Rys. 7). Nawet jeżeli płyta fundamentowa nie byłaby izolowana, to wykonanie dodatkowego uziomu byłoby zalecane ze względu na głębokość wykonania płyty.

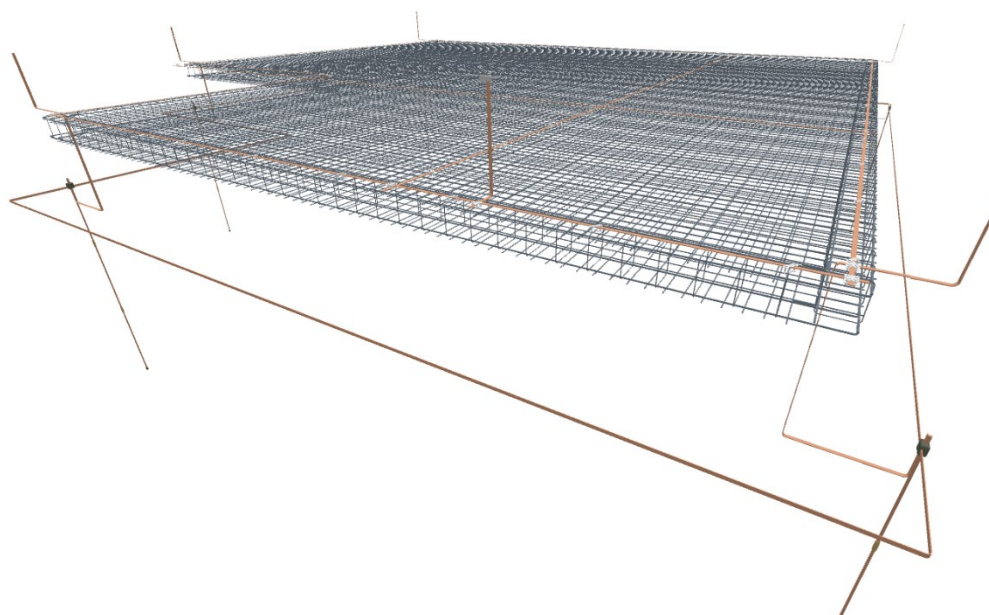


Rys. 6. Uziom fundamentowy niezabetonowany z wykorzystaniem płyty fundamentowej

Wykonanie sztucznego uziomu fundamentowego w warstwie chudego betonu wymusza jego odpowiednie dostosowanie. Przede wszystkim, jeżeli zakładamy pionowe ułożenie bednarki, to warstwa chudziaka powinna mieć odpowiednią grubość, aby zapewnić wymaganą 5 cm otulinę betonu z każdej strony. Płaskownik przed zalaniem powinien być ułożony pionowo i zamocowany na odpowiednich wspornikach, których zadaniem jest utrzymanie przewodów na odpowiedniej wysokości. Konfiguracja uziomu w gruncie powinna zależeć od rodzaju, a bardziej od wymiarów budynku. W budynkach jednorodzinnych wystarczające będzie wykonanie uziomu otokowego. W budynkach przemysłowych, o dużych powierzchniach, korzystne jest wykonanie uziomu kratowego poniżej poziomu płyty fundamentowej. Przewody w gruncie najlepiej układać bezpośrednio po wykonaniu wykopu, poniżej warstwy zagęszczonej pospółki. W przypadku uziomów sztucznych wykonywanych bezpośrednio pod płytą fundamentową warto przewidzieć wykonanie stosowanych wyprowadzeń umożliwiających ewentualną dalszą rozbudowę np.: o uziomy pionowe.

Jeżeli należy wykonać dodatkowy uziom sztuczny, to może nasuwać się pytanie czy należy wykorzystać zbrojoną płytę fundamentową i w jakim celu? Przede wszystkim takie rozwiązanie zapewnia bardzo dobre wyrównanie potencjałów i umożliwia wyprowadzenie przewodów uziemiających w dowolnym miejscu. Przewód może być zatem wyprowadzony dokładnie w miejscu, w którym przewidziana jest rozdzielnica elektryczna, piec CO lub inne urządzenia wymagające uziemienia. Najwięcej korzyści takie rozwiązanie daje w obiektach przemysłowych, gdzie punkty uziemiające można bez problemu wyprowadzić w każdym miejscu, w którym przewidziane są urządzenia technologiczne.

Przy wykorzystaniu zbrojenia płyty fundamentowej obowiązują te same zasady co w przypadku ław. Należy przede wszystkim zapewnić ciągłość i pewność połączeń po obwodzie płyty oraz dobrać odpowiednie materiały. Bednarki łączone ze zbrojeniem płyty mogą być układane poziomo, jeżeli beton jest zagęszczany maszynowo, ale zalecane jest układanie ich na górnej warstwie siatki zbrojeniowej. Przewody takiego uziomu wyrównawczego powinny być ułożone po obwodzie, z dodatkowymi połączeniami poprzecznymi umożliwiającymi wyprowadzenie przewodów uziemiających w dogodnym miejscu. Podobnie jak w przypadku ław fundamentowych, każdy przewód łączący zabetonowane zbrojenie z uziomem w gruncie nie może być wykonany ze stali ocynkowanej. Przewody te, jak i uziomy w gruncie powinny być wykonane z miedzi, stali pomiedziowanej lub stali nierdzewnej.



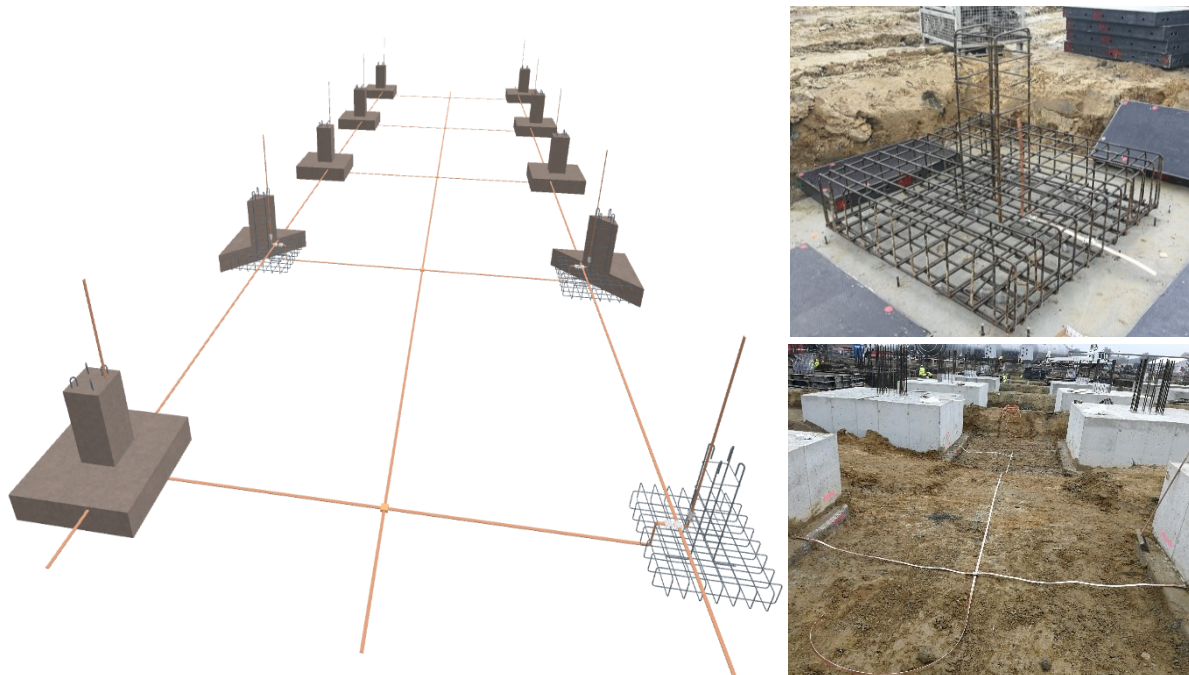
Rys. 7. Szkielet zbrojenia płyty z połączeniami wyrównawczymi i sztuczny niezabetonowany uziom fundamentowy rozszerzony o dodatkowe uziomy pionowe.

4.4. Stopy fundamentowe

Problem z doбором nieodpowiednich materiałów może wynikać z braku świadomości wykorzystywania zbrojenia fundamentów. O ile w przypadku budynków posadowionych na ławach i płytach sprawa jest oczywista, to nie wszyscy zdają sobie sprawę, że dotyczy to także stóp fundamentowych.

W przypadku wielkogabarytowych obiektów o przeznaczeniu magazynowym lub produkcyjnym, jako posadowienie często wykonywane są stopy fundamentowe pod konstrukcje wsporcze. Na Rys. 8 przedstawiono przykład układu uziomowego na etapie budowy zakładu przemysłowego. W każdej stopie fundamentowej wykonano, w tym przypadku, przewód połączony ze stalą zbrojeniową, wyprowadzony do góry jako przewód uziemiający oraz od spodu podłączony do uziomu w gruncie, który łączy wzajemnie wszystkie stopy fundamentowe. Warto zwrócić uwagę, że pomimo względnie niewielkich objętości stóp, mogą one zawierać złożony układ stali zbrojeniowej. Wykonane w taki sposób przewody uziemiające mogą być skutecznie wykorzystane jako podstawa instalacji wyrównania potencjałów, do połączenia urządzeń technologicznych lub do celów odgromowych, do podłączenia stalowych konstrukcji wsporczych stanowiących układ naturalnych przewodów odprowadzających.

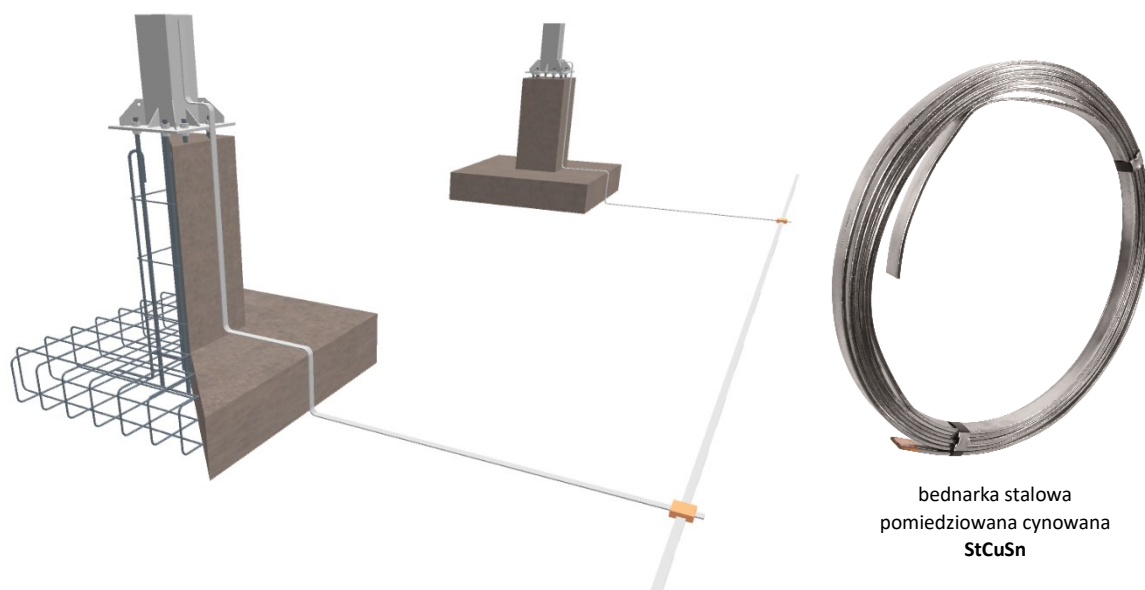
W przypadku obiektów przemysłowych należy wziąć pod uwagę dodatkową kwestię. Uziomy kratowe, powstające w wyniku łączenia poszczególnych konstrukcji często wykonywane są bezpośrednio pod obiektem. Uniemożliwia to praktycznie, lub przynajmniej w dużym stopniu utrudnia, jakiegokolwiek modernizacje, lub naprawy, takiego układu uziemiającego w przyszłości. Z tego względu, przewody uziomu w gruncie, powinny być wykonane z materiał zapewniającego odpowiedni okres eksploatacji, równy zakładanemu okresowi użytkowania obiektu.



Rys. 8. Zbrojone stopy fundamentowe obiektu przemysłowego połączone wzajemnie przewodem uziomu w gruncie

Połączenie uziomu w gruncie ze zbrojeniem fundamentów nie zawsze jest jednak tak oczywiste jak na przedstawionym Rys. 8. Często mogą występować sytuacje jak na Rys. 9, gdzie uziom w gruncie łączy się bezpośrednio ze stalową konstrukcją wsporczą, opartą o stopy prefabrykowane. Stalowe słupy najczęściej jednak mają połączenie ze zbrojeniem stopy poprzez śruby kotwiące. W takiej sytuacji, uziom sztuczny, połączony ze stalowym słupem powyżej powierzchni gruntu jest także połączony ze stalą w betonie. Dobór nieodpowiedniego materiału (tj. StZn) na uziom sztuczny prowadzi zatem do powstania ogniwa i korozji galwanicznej, a tym samym do przyspieszonej degradacji uziomu w gruncie. Taka sytuacja może dotyczyć zarówno stóp fundamentowych obiektów przemysłowych, słupów energetycznych wysokich napięć, czy też wież radiokomunikacyjnych.

Zastosowanie miedzi, czy stali pomiedziowanej stwarzać może problem z bezpośrednim łączeniem do stalowych konstrukcji, co wymusza konieczność stosowania odpowiednich przekładek. Zgodnie z pkt E.5.6.2.2.1 normy PN-EN 62305-3 [4] w celu minimalizacji ryzyka korozji stali z miedzią (a zatem i stalą pomiedziowaną) połączenia w powietrzu powinny być całkowicie pokryte trwałą warstwą odporną na wilgoć albo pokryte cyną. Obecnie dostępne są już na rynku bednarki stalowe pomiedziowane cynowane StCuSn (Rys. 9), które zapewniają nie tylko kompatybilność przy łączeniu z dowolnymi materiałami ale także charakteryzują się znacznie lepszymi właściwościami antykorozyjnymi [7].



Rys. 9. Połączenie uziomu w gruncie ze stali pomiedziowanej cynowanej (StCuSn) ze stalową konstrukcją wsporczą na zbrojonej stopie fundamentowej

5. Czy uziom fundamentowy wystarczy?

Już na etapie projektu należy określić kryterium, jakie powinno być spełnione po wykonaniu układu uziemiającego. W większości przypadków kryterium to stanowi określona wartość rezystancji uziemienia, która powinna być zweryfikowana pomiarami powykonawczymi. Problem polega na tym, że pomiar można wykonać dopiero po zasypaniu fundamentów, a jeżeli do zabezpieczenia betonu zastosowano folię budowlaną, to właściwą wartość rezystancji uziemienia uzyskuje się dopiero po kilku miesiącach od zasypania. Jeżeli wtedy okaże się, że rezystancja uziemienia jest wyższa, niż zakłada projekt, to rozbudowa uziomu może okazać się dosyć kosztowna, a jeżeli nie były wykonane wyprowadzenia z fundamentu także problematyczna.

Z punktu widzenia wymagań norm odgromowych [4], chociaż już na wstępie punktu 5.4. zapisano, że „zalecana jest mała rezystancja uziemienia (w miarę możliwości mniejsza niż 10Ω w pomiarach przy małej częstotliwości)”, to w dalszej części normy podstawowe kryterium uziomu stanowi jego wymiar geometryczny. W praktyce warunek tzw. minimalnej długości uziomu l_1 (pkt. 5.4.2. PN-EN 62305-3) dla IV i III klasy LPS jest spełniony już, gdy powierzchnia uziomu fundamentowego wynosi co najmniej **$A = 78,5 \text{ m}^2$** niezależnie od wartości rezystywności gruntu. Większe powierzchnie mogą być wymagane przy drugiej i pierwszej klasie LPS w zależności od rezystywności gruntu [4], ale to dotyczy już głównie obiektów specjalnych. Tak sformułowany wymóg może prowadzić niestety do budowy uziomów o dużej rezystancji, której wartość w dużym stopniu zależy będzie od lokalnej rezystywności gruntu.

Bardziej praktyczne i bezpieczne jest kryterium określonej wartości rezystancji uziemienia. Maksymalna, dopuszczalna wartość R powinna być określona przez projektanta i w zależności od rodzaju obiektu może wynikać z wymagań ochrony przeciwporażeniowej, warunków przyłączeniowych, wytycznych wewnętrznych lub standardów inwestora czy też wymagań technologicznych urządzeń instalowanych w obiekcie. W wielu przypadkach najczęściej stawiany jest wymóg $R \leq 10 \Omega$. W obiektach elektroenergetycznych, takich jak stacje SN i WN, ze względu na ochronę przed porażeniem wymagane mogą być jednak bardzo małe wartości rezystancji na poziomie nawet $R \sim 1 \Omega$. Takie kryterium uzależnia konfigurację i wymiary uziomu od lokalnych warunków rezystywności gruntu.

Dążąc do uzyskania określonej wartości rezystancji uziemienia, na etapie budowy zawsze należy brać pod uwagę konieczność rozbudowy uziemienia. Jeżeli uziom fundamentowy zostanie wykonany jedynie z wyprowadzeniem przewodu uziemiającego do rozdzielnic elektrycznej, to w razie konieczności, jego rozbudowa będzie utrudniona. Dlatego, nawet jeżeli wstępnie nie przewiduje się wykonania urządzenia piorunochronnego, to dobrą praktyką jest wykonanie dodatkowych wyprowadzeń w narożnikach budynków. Najbardziej praktyczną metodą redukcji wartości rezystancji uziemienia jest rozbudowa o dodatkowe uziomy pionowe (Rys. 10).



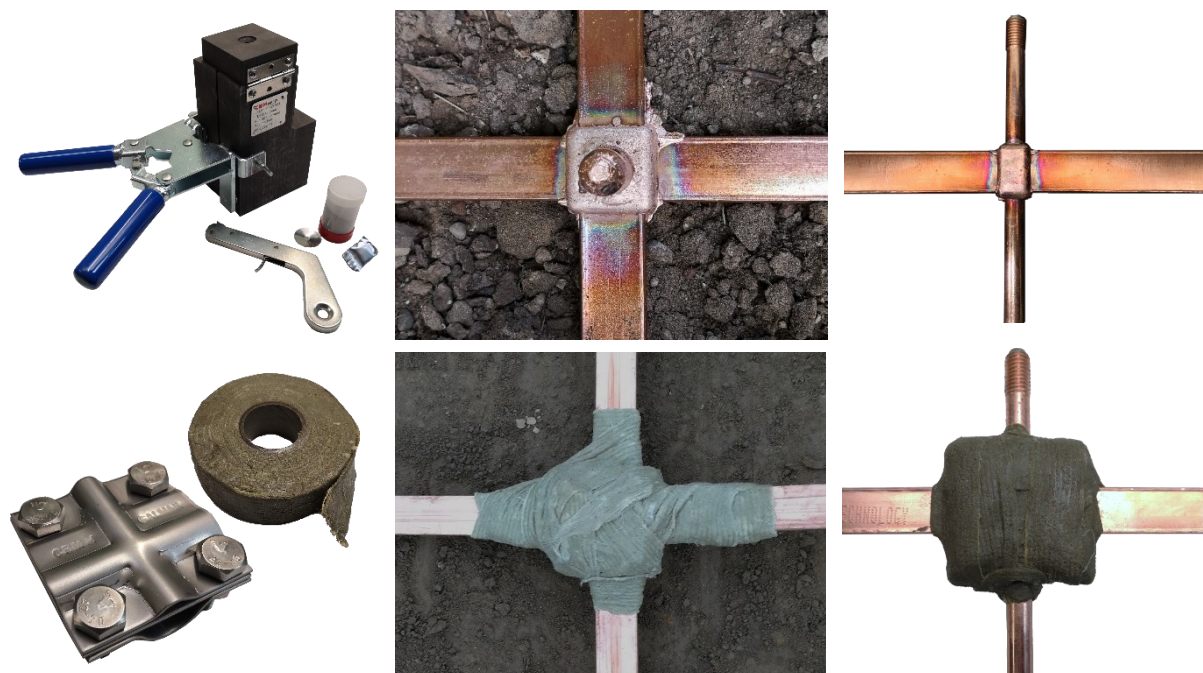
Uziom pionowy kuty StCu, łączony metodą bolec-wpust z tuleją uszczelniająco wzmacniającą

Uziom pionowy z gwintem StCu, łączony za pomocą złączek mosiężnych

Rys. 10. Podstawowe elementy do rozbudowy układu uziemiającego: uziomy pionowe kuty i z gwintem StCu

Jeżeli nie przewiduje się ochrony odgromowej to uziomy pionowe należy wykonać jak najbliżej wyprowadzenia do GSU. W przypadku wykonywania urządzenia piorunochronnego uziomy pionowe powinny być pograżone równomiernie przy każdym przewodzie odprowadzającym. W takim przypadku najlepiej, aby rezystancje każdego uziomu pionowego były zbliżone do siebie, aby zapewnić równomierny podział prądu pioruna przy ewentualnym wyładowaniu atmosferycznym. Jeżeli natomiast wokół fundamentu dodatkowo wykonany jest uziom otokowy to takie rozwiązanie daje najwięcej korzyści. Przy otoku uziom pionowy lub dodatkowe podłączenie przewodu uziemiającego można wykonać w dowolnym miejscu. Inną istotną korzyścią uziomów otokowych jest także lepsze wyrównanie potencjałów wokół budynku. Wykonując dodatkowe uziomy sztuczne w ziemi należy pamiętać, że nawet zastosowanie najlepszych materiałów może zostać zniweczone, jeżeli zaniedbana zostanie kwestia połączeń. Połączenia skręcane w ziemi wymagają dodatkowych zabezpieczeń antykorozyjnych, a

najtrwalszą metodą do wszelkich połączeń nierozłączalnych jest zgrzewanie egzotermiczne (Rys. 11).



Rys. 11. Porównanie technik łączenia uziomów w gruncie: zgrzewanie egzotermiczne (u góry) i połączenia skręcane zabezpieczone taśmą antykorozyjną (u dołu)

W wielu przypadkach pomiar rezystancji uziemienia na etapie oddania obiektu do użytku, jest niestety ostatnim, który jest wykonywany. Kwestia ta, ostatnio ulega poprawie, ale w dalszym ciągu wiele osób nie jest po prostu świadoma, że brak protokołu z pomiarów okresowych może stanowić podstawę do odmowy wypłaty odszkodowania w przypadku szkód, które mogą wystąpić na skutek wyładowania atmosferycznego lub pożaru wywołanego przez instalację elektryczną. Bardzo często, w ogólnych warunkach ubezpieczenia (OWU) można znaleźć rozdział „Wyłączenia odpowiedzialności”, w którym spotyka się stwierdzenia, że ubezpieczyciel „nie odpowiada za szkody powstałe w następstwie (...) niewykonania określonych przepisami prawa przeglądów technicznych lub kontroli okresowych” (§ 11. OWU PZU dom [10]). Jako przepisy prawa chodzi tu o artykuł 62. Prawa budowlanego, który wyraźnie precyzuje, że obiekt budowlany w okresie jego eksploatacji należy poddawać kontroli okresowej, co najmniej raz na 5 lat, a „kontrolą tą powinno być objęte również badanie instalacji elektrycznej i piorunochronnej w zakresie stanu sprawności połączeń, osprzętu, zabezpieczeń i środków ochrony od porażeń, **oporności izolacji przewodów oraz uziemień instalacji i aparatów**”. Właścicielowi obiektu, powinno zatem zależeć, aby określona wartość rezystancji uziemienia uzyskana była nie tylko na etapie odbioru, ale także, aby była zachowana w całym okresie eksploatacji obiektu. To można uzyskać jedynie

poprzez należyte wykonanie instalacji i dobór odpowiednich materiałów. Stosowanie najtańszych rozwiązań daje niestety efekt jedynie na etapie budowy, a nie w dłuższym okresie eksploatacji. Zakładając odgórnie brak specjalistycznej wiedzy inwestora, to w gestii projektanta, a później wykonawcy powinno leżeć uświadomienie go w tym zakresie. Poinformowanie właściciela obiektu o konieczności wykonywania pomiarów okresowych i znaczeniu stosowania odpowiednich materiałów na uziemienia powinno być wystarczające do odrzucenia kryterium najniższej ceny.

6. Podsumowanie

Odpowiednio wykonane fundamenty mogą stanowić najlepsze rozwiązanie do budowy uziemienia instalacji elektrycznych, ale jedynie przy spełnieniu określonych wymagań. Wykładnikiem jakości uziomu zawsze powinna być wartość rezystancji uziemienia i jego trwałość. Jeżeli rezystancja samego uziomu fundamentowego jest zbyt duża lub fundament oddzielony jest od gruntu warstwą termo- lub hydroizolacji, to wymaga rozbudowy o dodatkowe uziomy sztuczne umieszczone w gruncie. Najistotniejszą kwestią w przypadku sztucznego uziomu fundamentowego jest wykonanie odpowiednich połączeń oraz dobór właściwych materiałów. Połączenia, zarówno te w betonie, jak i w gruncie, należy wykonywać z zapewnieniem odpowiedniego kontaktu elektrycznego, wytrzymałości mechanicznej i w razie potrzeby dodatkowej ochrony antykorozyjnej. Dobór materiałów jest szczególnie istotny w przypadku wyprowadzeń przewodów z fundamentu i uziomów sztucznych w gruncie – zastosowanie niewłaściwego materiału może prowadzić do przyspieszonej korozji przewodu i utraty połączenia.

7. Literatura

- [1] Musiał E.: Uziomy fundamentowe i parafundamentowe. Miesięcznik SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2011, nr 143, s. 3-33
- [2] T. Maksimowicz, M. Zielenkiewicz, „Zalecenia norm dotyczące materiałów stosowanych na uziomy sztuczne łączone z uziomem fundamentowym”, elektro.info nr 4/2013, pp. 34-38, Kwiecień 2013
- [3] M. Zielenkiewicz, T. Maksimowicz, „Podstawowe błędy przy projektowaniu i budowie uziomów fundamentowych”. Wiadomości elektrotechniczne, październik 2015 r.
- [4] PN-EN 62305-3:2011 Ochrona odgromowa -- Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia
- [5] PN-HD 60364-5-54:2011 Instalacje elektryczne niskiego napięcia -- Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego -- Układy uziemiające i przewody ochronne
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami)
- [7] W. Hoppel, R. Marciniak „Uziemienia w sieciach elektroenergetycznych”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2020

- [8] PN-HD 60364-5-534:2016 Instalacje elektryczne niskiego napięcia Część 5-534: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego . Odłączanie izolacyjne, łączenie i sterowanie. Urządzenia do ochrony przed przejściowymi przepięciami
- [9] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane. (Dz. U. 1994 Nr 89 poz. 414 z późniejszymi zmianami)
- [10] Ogólne Warunki Ubezpieczenia PZU Dom, 2018 r.