Edward Musiał
Politechnika Gdańska

UZIOMY FUNDAMENTOWE I PARAFUNDAMENTOWE[1]

Zamierzone wykorzystywanie fundamentów – zawierających stalowe pręty, płaskowniki bądź kształtowniki zalane betonem – w roli uziomów ma ciekawą 60-letnią historię. Początki były nieśmiałe, pełne obaw, po czym, w krajach promujących postęp, za normę przyjęto uziom fundamentowy w każdym nowym budynku, widząc w tym nieodzowny element ekwipotencjalizacji, ale także – nieoceniony, a łatwy do wykonania uziom w czasach postępującej dezintegracji metalowych sieci wodociągowych, wcześniej wykorzystywanych w instalacjach odbiorczych w roli uziemienia. Opracowano wzorcowe rozwiązania uziomów fundamentowych dla rozmaitych budowli i różnych sposobów ich fundamentowania, pojawiły się dokumenty normatywne, najpierw krajowe (niemieckie, francuskie, amerykańskie), a potem – międzynarodowe. Kiedy niemal wszystko było już rozwiązane i załatwione, kiedy lepiej czy gorzej już sobie radzono z fundamentami hydroizolowanymi[2], wtedy pojawiły się budynki o pełnej termoizolacji nie tylko ścian zewnętrznych, ale i całej powierzchni spodniej, łącznie z fundamentami. Po elektrycznym odizolowaniu fundamentów od gruntu przyszło szukać rozwiązań dla takich sytuacji, a przyszłość zapewne przyniesie jeszcze niejedną niespodziankę w tej dziedzinie zawodowej współpracy elektryków z architektami i budowlanymi.

1. Rys historyczny

Molierowski pan Jourdain przeszło 40 lat mówił prozą „nie mając o tym żywego pojęcia". Podobnie, przeszło 40 lat elektrycy niechcący wykorzystywali żelbetowe fundamenty słupów linii wysokiego napięcia, jeśli ich zbrojenie było w sposób nieuchronny przewodząco połączone z uziomami sztucznymi tych słupów. Nie czynili tego w sposób zamierzony, a tym bardziej nie polegali na samym uziomie fundamentowym. Z czasem żelbetowy fundament słupa zaczęli traktować jako bliżej nieokreślone uzupełnienie uziomu sztucznego, trudne do skwantyfikowania i niepewne w czasie. Obawiali się nie dość rozpoznanej konduktywności betonu i innych możliwych warstw pośrednich między zbrojeniem a gruntem, jej zależności od różnych czynników, a także – niekorzystnego wpływu dużych prądów zwarciowych i piorunowych na wytrzymałość mechaniczną zbrojenia.

To podejście zmieniło się radykalnie dopiero po 2. wojnie światowej, w miarę rozpoznawania zjawisk związanych z wykorzystaniem żelbetowych fundamentów słupów w roli uziomów. W Polsce najwięcej w tej dziedzinie uczynił prof. Konstanty Wołkowiński z Politechniki Wrocławskiej i opisał w kolejnych wydaniach monografii o uziemieniach urządzeń elektroenergetycznych [15]. Z kolei prof. Jan Piasecki z Politechniki Gdańskiej jest autorem pierwszej w Polsce obszernej publikacji [11] na temat współczesnych uziomów fundamentowych sztucznych w nowych budynkach. Zaproponował też rozwiązanie „uziomów fundamentowych zastępczych" dla istniejących budynków.

[1)] Artykuł jest uzupełnioną wersją referatu z konferencji „AUTOMATYKA, ELEKTRYKA, ZAKŁÓCENIA", w dniach 15–17 czerwca 2011 r. w Juracie. Tekst publikujemy w porozumieniu z firmą INFOTECH z Gdańska, organizatorem konferencji.

[2)] Hydroizolacja (izolacja wodochronna) – izolacja przeciwwilgociowa (woda nie wywiera ciśnienia hydrostatycznego na chroniony obiekt) lub izolacja przeciwwodna (woda wywiera ciśnienie hydrostatyczne na chroniony obiekt, bo na przykład znajduje się on poniżej poziomu wody gruntowej).

Kolejne dokumenty normatywne jako pierwsi opracowywali Niemcy. W latach 1966 do 1994 uznane zasady wiedzy technicznej w tej dziedzinie reprezentowały kolejne wydania wytycznych zrzeszenia energetyki niemieckiej VDEW [24], po czym – kolejne edycje normy DIN 18014 [25, 26]. Warto zwrócić uwagę, że nie jest to norma DIN VDE, w zasadzie adresowana do elektryków, lecz norma DIN, adresowana do ogółu inżynierów, podobnie jak inne normy grupy DIN 180XX (przestrzenie przyłączowe w budynkach, elektryczne wyposażenie mieszkań). Niemieckim elektrykom ułatwia to współpracę z architektami i budowlanymi, w tym – egzekwowanie wymagań tych norm.

W aktualnej Polskiej Normie PN-HD 60364-5-54:2010 [18], będącej tłumaczeniem dokumentu HD 60364-5-54:2007, poza stanowczym zaleceniem wykonywania uziomów fundamentowych i określeniem najmniejszych dopuszczalnych wymiarów poprzecznych elementów uziomowych, brakuje wymagań szczegółowych odnośnie do ich projektowania, wykonywania, badania i odbioru. Trochę więcej jest w nowszych projektach normy IEC 60364-5-54 (64/1610/CD:2007, 64/1718/CDV:2010, 64/1755/FDIS:2010), ale i te dokumenty nie są tak wyczerpujące jak norma DIN, a poza tym nie ma pewności, co z nich ostanie się w dokumencie europejskim HD.

Uziom fundamentowy stanowią elementy metalowe zalane betonem w fundamencie budowli, mającym niezawodną styczność elektryczną z otaczającym gruntem. *Niezawodną* nie znaczy *doskonałą*, ale oznacza, że styczność elektryczna jest wystarczająca w całym spodziewanym okresie trwałości budynku i jego uziomu, również tuż po przekazania obiektu do użytkowania, w początkowym okresie stabilizowania się warunków przewodnictwa elektrycznego.

Uziom fundamentowy naturalny tworzy samo zbrojenie żelbetowego fundamentu, jest zatem do pomyślenia tylko w budynku o fundamencie **zbrojonym prętami stalowymi**. Oszczędza się na wprowadzeniu do fundamentu osobnego stalowego pręta okrągłego lub płaskownika, ale w zamian trzeba się zmierzyć z licznymi kłopotami. Pręty zbrojenia tworzące uziom powinny być małooporowo łączone ze sobą, najlepiej przez spawanie, a to wymaga uzgodnień najpierw z projektantem konstrukcji budowli, a potem z inspektorem nadzoru. Łączenie zbrojenia atestowanymi zaciskami gwintowymi tym bardziej powinno być sprawdzane przez elektryka przed zalaniem ich betonem. Niejasny jest rozdział kompetencji między budowlanym a elektrykiem. Budowlani, nawykli do łączenia prętów zbrojeniowych drutem wiązałkowym, na wielu budowach sabotują postulaty i zabiegi elektryka. Uziom fundamentowy naturalny to rozwiązanie na ogół niedoskonałe, które powinno być wykluczone z poważnych rozważań. Wyjątkiem są budynki o szkielecie stalowym, w których można wykorzystać podziemne metalowe bądź żelbetowe konstrukcje nośne oraz budynki posadowione na palach fundamentowych, w których można wykorzystać zbrojenie pali.

Uziom fundamentowy naturalny nie wchodzi w rachubę w przypadku fundamentów żelbetowych zbrojonych tylko siatką stalową, co dotyczy zwłaszcza fundamentów płytowych. Nie wchodzi też w rachubę w fundamentach mających tylko rozproszone zbrojenie, czyli w fundamentach:

- z **drutobetonu**[1] (zbrojeniem są odcinki drutu stalowego Ø 0,2÷1,3 mm, o długości 20÷60 mm, proste lub haczykowato zagięte na końcach) ani tym bardziej w fundamentach

[1] Nazwy *drutobeton* oraz *fibrobeton* zaproponował prof. J. Tejchman z Politechniki Gdańskiej, autor książek na temat betonów o rozproszonym zbrojeniu.

- z **fibrobetonu** (zbrojeniem są włókna polipropylenowe Ø 0,01÷1,5 mm, o długości 10÷40 mm lub włókna szklane Ø 0,01÷0,03 mm).

Uziom fundamentowy sztuczny jest stalowym prętem okrągłym lub płaskownikiem celowo umieszczonym w fundamencie dla celów uziemieniowych, łączonym w sposób właściwy dla przewodów elektroenergetycznych. Dla budowlanych jest to „ciało obce", przed którym czują respekt i w trakcie robót fundamentowych akceptują ingerencje elektryka, bo to jego przewód. Taki uziom można wykonać w budynku o fundamencie dowolnej konstrukcji, niezbrojonym lub zbrojonym w dowolny sposób, byle fundament miał wystarczającą styczność elektryczną z gruntem. W fundamencie zbrojonym prętami wspomniany płaskownik lub pręt uziomowy mocuje się nie na wspornikach dystansowych wbitych w podłoże, lecz – do zbrojenia. W konsekwencji zbrojenie bierze udział w przewodzeniu i odprowadzaniu prądu przez otulinę betonową do ziemi, ale nie zmienia to charakteru takiego uziomu. Jest to uziom sztuczny, właściwym i wystarczającym elementem uziomowym jest celowo wprowadzony do fundamentu pręt okrągły lub płaskownik o sprawdzonej ciągłości, a zbrojenie spełnia rolę pomocniczą. Trwałość poprawnie wykonanego uziomu fundamentowego sztucznego jest nie mniejsza niż trwałość budynku.

Aktualna norma PN-HD 60364-5-54:2010 [18] zawiera w rozdz. 542.2.1 następujące stanowcze zalecenie: „W nowych obiektach budowlanych zdecydowanie zaleca się **stosowanie uziomów fundamentowych**…", które, niestety, nie sugeruje preferowania uziomów fundamentowych sztucznych. To wynik niezdarnego lub złośliwego tłumaczenia tekstu angielskiego o brzmieniu: „For new buildings, the **erection of a foundation earth electrode** is strongly recommended". Angielskie *erection* oznacza w tej normie *montaż, instalowanie, wykonywanie*. Przecież w podtytule wszystkich arkuszy grupy 500 angielskie *Selection and erection of electrical equipment* oddano słowami: *Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego*. Wobec tego przywołane zalecenie powinno brzmieć po polsku: „W nowych obiektach budowlanych zdecydowanie zaleca się **wykonanie uziomu fundamentowego**", a zatem – wykonanie uziomu sztucznego, a nie wykorzystanie zbrojenia.

Są sytuacje, kiedy wykonanie uziomu fundamentowego *sensu stricto*, zgodnego z podaną definicją, nie jest możliwe. Wykonuje się wtedy uziomy zastępujące uziom fundamentowy, uziomy równoważne fundamentowemu, które dla odróżnienia trzeba nazwać inaczej. Jest tak przede wszystkim w przypadku budynków o izolowanych wszystkich powierzchniach stykających się z gruntem, co likwiduje niezbędną styczność elektryczną fundamentu z gruntem. Uziom, wykonywany w takich przypadkach pod budynkiem i/lub wokół budynku, Niemcy nazywają *Ringerder*, dosłownie *uziom pierścieniowy*, choć niekoniecznie ma on taki kształt. Dla takich uziomów, zastępujących uziomy fundamentowe, jest w tym artykule używana nazwa **uziomy parafundamentowe**[1].

2. Uziom fundamentowy sztuczny jako uziom wyrównawczy

Uznane zasady wiedzy technicznej, w tym norma 60364, traktują uziom fundamentowy jako nieodzowną część składową elektrycznej instalacji odbiorczej budynku. Pierwszym jego zadaniem jest znaczące zmniejszenie ryzyka wypadków porażeń

[1)] Para- to pierwszy człon wyrazów złożonych mający znaczenie: niby, prawie. Przykłady: paratyfus, parapsychologia, paramilitarny, paramagnetyczny. Od greckiego para – przy, obok, poza (czymś).

w razie uszkodzeń w obrębie tejże instalacji, a także w razie wprowadzenia niebezpiecznego napięcia względem ziemi przez przewód ochronny PE (PEN) sieci zasilającej. Jest on ważnym składnikiem układu wyrównywania potencjałów w obrębie budynku, obejmującym sam uziom oraz układ przewodów i szyn wyrównawczych. Ten układ stanowi ochronę przeciwporażeniową uzupełniającą, zapobiegającą groźnemu porażeniu mimo uszkodzenia izolacji podstawowej i jednoczesnego utrzymywania się niektórych uszkodzeń systemu ochrony dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu) przez samoczynne wyłączanie zasilania, zwłaszcza przerwania przewodu ochronnego PE. Jeżeli uziom fundamentowy jest ponadto wykorzystywany do celów ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej, to powinien dodatkowo spełniać wymagania normy PN-EN 62305 [16].

Uziom fundamentowy jest najdoskonalszym uziomem wyrównawczym. Wprawdzie wyrównanie potencjału znajdujących się w budynku części przewodzących dostępnych i części przewodzących obcych oraz ziemi lokalnej poprzez główną szynę wyrównawczą (GSW) można uzyskać niezależnie od sposobu uziemienia GSW, również za pomocą uziomu o dowolnej konfiguracji, pogrążonego w gruncie poza budynkiem, jednak tylko ułożony w fundamencie, co najmniej po obwodzie budynku, uziom fundamentowy pozwala objąć wyrównaniem potencjału również niemetalową konstrukcję budynku (ściany i stropy), która na ogół nie jest elektroizolacyjna, nawet wtedy, kiedy nie da się jej zaliczyć do części przewodzących obcych.

Uziom fundamentowy jest tani, bo nie wymaga dodatkowych prac ziemnych – ani wykopów w celu ułożenia uziomu poziomego otokowego, ani pogrążania prętów uziomu pionowego. Elementy uziomowe układa się w trakcie wykonywania zwykłych prac budowlanych, poprzedzających wylewanie fundamentów.

Uziom fundamentowy ma małą i stabilną w czasie rezystancję uziemienia. Uziom fundamentowy z zasady znajduje się w najniższej części budynku, sąsiaduje z gruntem o rezystywności na ogół mniejszej niż mają warstwy powierzchniowe i rezystywności mniej uzależnionej od pory roku i aktualnych warunków pogodowych. W budynkach o kilku kondygnacjach podziemnych uziom jest pod najniższą z tych kondygnacji, a w budynkach posadowionych na palach, jako elementy uziomowe wykorzystuje się zbrojenie tych pali, sięgających głębokości kilkunastu i więcej metrów. Na takich głębokościach roczna zmienność temperatury i wilgotności gruntu jest pomijalnie mała, wobec tego bardzo stabilna w czasie jest rezystancja uziemienia. Nawet w budynku niepodpiwniczonym uziom fundamentowy wykonany na małej głębokości, w płycie fundamentowej budynku, ma rezystancję uziemienia raczej mniejszą i mniej zależną od pory roku niż gdyby te same elementy uziomowe pogrążyć na tej samej głębokości obok budynku.

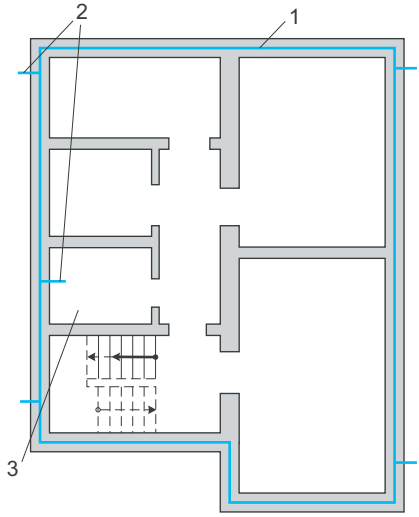
3. Ogólne zasady wykonania uziomu fundamentowego sztucznego

Niezależnie od rodzaju fundamentu niezmienne są główne zasady wykonania uziomu fundamentowego sztucznego [2, 3, 7, 14, 26], które pokrótce przedstawiają się następująco.

Konfiguracja uziomu fundamentowego

Uziom powinien mieć kształt otoku opasującego cały budynek pod jego zewnętrznymi ścianami. Jeżeli wymiary tego otoku wykraczają poza umowny kwadrat 20×20 m,

to należy dodawać elementy uziomowe w fundamentach ścian wewnętrznych w taki sposób, aby każde oko tworzonej kraty uziomowej miało wymiary nie większe niż 20×20 m (rys. 1, 2). Wartością nieprzekraczalną nie jest pole powierzchni oka (400 m^2), lecz wymiar liniowy jego boku (20 m).



1 – uziom fundamentowy,

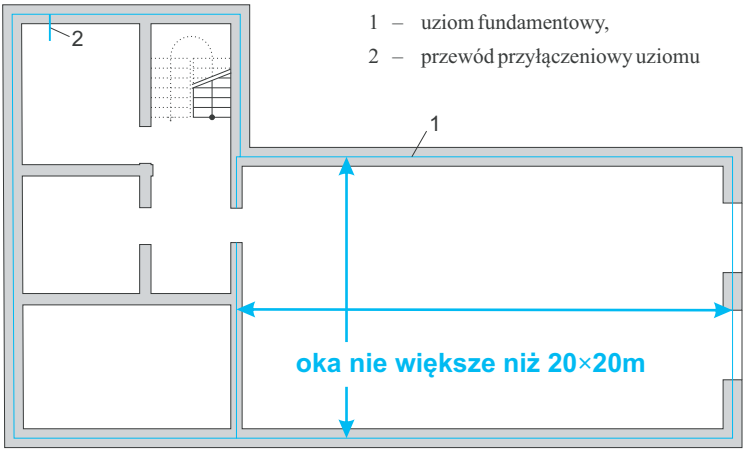
2 – przewód przyłączeniowy uziomu do połączenia z główną szyną wyrównawczą i z przewodami odprowadzającymi piorunochronu,

3 – pomieszczenie przyłączowe

Rys. 1. *Konfiguracja uziomu fundamentowego niedużego budynku mieszkalnego*

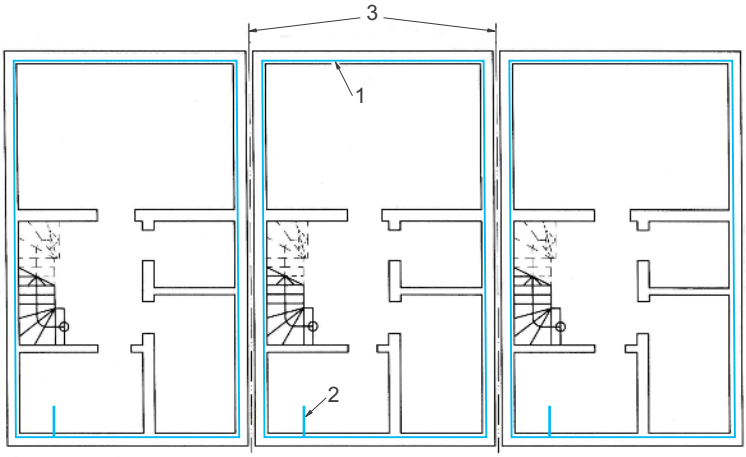
Wartość uzyskanej rezystancji uziemienia zależy przede wszystkim od wymiarów części otokowej uziomu, ułożonej pod fundamentami ścian zewnętrznych. Natomiast rola elementów uziomu ułożonych pod fundamentami ścian wewnętrznych polega na doskonalszym wyrównaniu potencjałów w obrębie budynku, zwłaszcza na podłodze najniższej kondygnacji.

Im mniejsze oka, tym skuteczniejsza ekwipotencjalizacja, tym lepszy uziom dla każdego z możliwych zastosowań (ochrona przeciwporażeniowa, ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa, szeroko pojęta kompatybilność elektromagnetyczna), ale zagęszczanie kraty kosztuje, a po przekroczeniu pewnej granicy nie daje wyraźnych korzyści. Krata o okach mniejszych niż 20×20 m może być uzasadniona obecnością piorunochronu przy wysokim poziomie ochrony odgromowej (10×10 m) i/lub wyposażeniem w szczególnie odpowiedzialne i wrażliwe urządzenia elektroniczne (nawet 5×5 m). Ważne są wtedy nie tylko wymiary ok kraty, ale i to, by jej skrajne węzły wypadały w miejscach zejścia przewodów odprowadzających piorunochronu, a szyny bądź zaciski uziemiające i wyrównawcze na wyższych kondygnacjach znalazły się nad skrajnymi bądź wewnętrznymi węzłami kraty. Dzięki temu połączenia uziemiające są jak najkrótsze, a prąd doprowadzony do kraty uziomowej rozpływa się w różne strony nawet czterema jej przewodami, co jest istotne przy odprowadzaniu prądów zakłóceniowych udarowych i prądów o dużej częstotliwości.



Rys. 2. *Uziom fundamentowy w budynku warsztatowym [2]*

W budynkach szeregowych właściwa konfiguracja uziomu może zależeć od stosunków własnościowych. Pożądane są oddzielne uziomy fundamentowe dla każdego segmentu (rys. 3), jeśli może on stanowić odrębną nieruchomość i mieć innego właściciela, a wystarcza jeden wspólny uziom dla całego budynku, jeżeli ma on jednego właściciela.



1 – uziom fundamentowy,

2 – wyprowadzenie przewodu przyłączeniowego uziomu w pomieszczeniu przyłączowym segmentu,

3 – granice odrębnej własności działek

Rys. 3. *Oddzielne uziomy fundamentowe dla każdego segmentu w budownictwie szeregowym [2]*

Materiał uziomu

Na uziom zalewany betonem wystarczają wyroby ze stali węglowej gołej. W razie użycia wyrobów ze stali cynkowanej dochodzi do korozji galwanicznej, jeżeli w tym samym środowisku elektrolitycznym wilgotnego betonu znajduje się zbrojenie ze stali gołej. Powstają ogniwa galwaniczne cynk/żelazo o łącznym potencjale elektrochemicznym ok. 0,4 V, będące źródłem prądu degradującego powłokę cynku. Po jej zniszczeniu proces ustaje; nie stanowi on żadnego zagrożenia, jedynie świadczy, że stosowanie stali cynkowanej na uziomy zatopione w betonie niczemu nie służy.

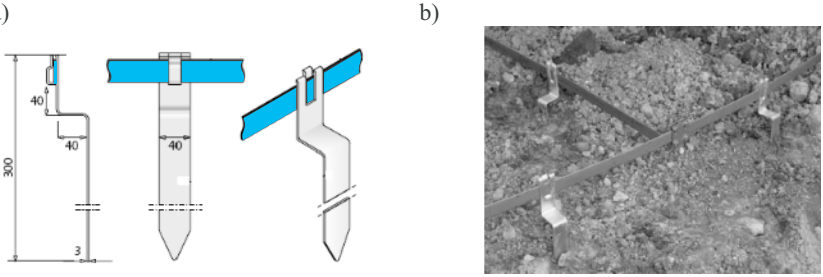
Natomiast wyroby ze stali cynkowanej bądź ze stali nierdzewnej są potrzebne na przewody przyłączeniowe wyprowadzone z betonowego fundamentu do połączenia uziomu z główną szyną wyrównawczą (GSW) budynku, z mostkiem dylatacyjnym i/lub z przewodami odprowadzającymi piorunochronu.

Wymiary poprzeczne uziomu

Wymagane wymiary poprzeczne wszelkich uziomów (tabl. 1 i 2) uwzględniają odporność na korozję (decyduje najmniejszy wymiar liniowy przekroju poprzecznego, np. grubość płaskownika, grubość ścianki rury) oraz odporność na naprężenia mechaniczne przy pogrążaniu (uziomów pionowych). Oba kryteria w przypadku uziomów fundamentowych występują w postaci szczątkowej. Wieloletnia praktyka niemiecka, poparta postanowieniami kolejnych edycji wytycznych energetyki [24], a od roku 1994 – kolejnych edycji normy DIN 18014 [25, 26], utrwaliła stosowanie **płaskownika** o najmniejszym dopuszczalnym przekroju 25×4 mm (100 mm^2) do roku 1994, a następnie 30×3,5 mm (105 mm^2), przy czym nie chodziło o zwiększenie pola powierzchni przekroju o 5 mm^2, lecz o zmniejszenie grubości płaskownika i jego sztywności w celu łatwiejszego układania. Wielu wykonawców i tak preferuje nieznacznie droższy płaskownik 30×4 mm (120 mm^2), uważając go za poręczniejszy przy układaniu.

Aktualna norma PN-HD 60364-5-54:2010 [18] wymaga płaskownika o przekroju co najmniej 90 mm^2 i grubości co najmniej 3 mm, czyli płaskownika minimum 30×3 mm (tabl. 1), a we wstępnym projekcie jej nowelizacji (tabl. 2) wystarczający jest przekrój 75 mm^2 (płaskownik 25×3 mm). Przez wszystkie lata i we wszystkich dokumentach normatywnych niezmienna pozostaje najmniejsza dopuszczalna średnica stalowego **pręta okrągłego** na uziom fundamentowy – 10 mm.

a) b)



Rys. 4. *Układanie płaskownika stalowego na uziom fundamentowy*
a) wspornik dystansowy do mocowania płaskownika,
b) płaskownik na wspornikach dystansowych w wykopie fundamentowym

Tablica 1. Najmniejsze dopuszczalne wymiary poprzeczne uziomów sztucznych według aktualnej normy PN-HD 60364-5-54:2010 [18]

Materiał	Kształt przekroju poprzecznego	Najmniejsze dopuszczalne wymiary poprzeczne				
		wyrobu właściwego			powłoki	
		średnica mm	przekrój mm^2	grubość mm	grubość minimalna µm	grubość średnia µm
Stal cynkowana na gorąco [a] lub stal nierdzewna [a b]	Taśma [c]		90	3	63	70
	Kształtownik		90	3	63	70
	Pręt okrągły na uziomy pionowe	16			63	70
	Drut okrągły na uziomy poziome	10				50[e]
	Rura	25		2	47	55
Stal miedziowana przez platerowanie	Pręt okrągły na uziomy pionowe	15			2 000	
Stal miedziowana galwanicznie	Pręt okrągły na uziomy pionowe	14			90	100
Miedź goła [a]	Taśma		50	2		
	Drut okrągły na uziomy poziome		25[f]			
	Linka	1,8 (pojedynczy drut)	25			
	Rura	20		2		
Miedź cynowana	Linka	1,8 (pojedynczy drut)			1	5
Miedź cynkowana	Taśma [d]		50	2	20	40

[a] Może być stosowana na uziomy w otulinie betonowej.
[b] Bez powłoki.
[c] Jako taśma walcowana lub taśma cięta o zaokrąglonych krawędziach.
[d] Taśma o zaokrąglonych krawędziach.
[e] W przypadku powlekania ciągłego w kąpieli aktualnie można uzyskać tylko grubość 50 µm.
[f] Jeżeli doświadczenie wskazuje, że ryzyko korozji i uszkodzenia mechanicznego jest pomijalnie małe, to dopuszcza się przekrój 16 mm^2.

Tablica 2. Najmniejsze dopuszczalne wymiary poprzeczne uziomów sztucznych w projekcie nowelizacji normy IEC 60364-5-54 [19] (ważniejsze proponowane zmiany wyróżniono barwą niebieską)

Materiał	Kształt przekroju poprzecznego	Najmniejsze dopuszczalne wymiary poprzeczne				
		wyrobu właściwego			powłoki	
		średnica mm	przekrój mm^2	grubość mm	grubość µm	masa g/m^2
Stal w betonie goła, cynkowana na gorąco lub nierdzewna	Drut okrągły	10				
	Płaskownik lub taśma		75	3		
Stal cynkowana na gorąco przez zanurzenie [c]	Taśma [b], profilowana taśma/blacha, blacha lita, blacha perforowana		90	3	63	500
	Pręt okrągły na uziomy pionowe	16			45	350
	Drut okrągły na uziomy poziome	10			45	350
	Rura	25		2	45	350
	Linka w betonie		70			
	Kształtownik na uziom pionowy		(290)	3		
Stal miedziowana przez platerowanie	Pręt okrągły na uziomy pionowe	(15)			2 000	
Stal miedziowana galwanicznie	Pręt okrągły na uziomy pionowe	14			**250** [e]	
	Drut okrągły na uziomy poziome	(8)			70	
	Taśma na uziomy poziome		90	3	70	
Stal nierdzewna [a]	Taśma [b] lub profilowana taśma/blacha		90	3		
	Pręt okrągły na uziomy pionowe	16				
	Drut okrągły na uziomy poziome	10				
	Rura	25		2		
Miedź	Taśma		50	2		
	Drut okrągły na uziomy poziome		(25)[d] 50			
	Pręt okrągły na uziomy pionowe	(12) 15				
	Linka	1,7 (pojedynczy drut)	(25)[d] 50			
	Rura	20		2		
	Blacha lita			(1,5) 2		
	Blacha perforowana			2		

UWAGA: Wartości w nawiasach dotyczą uziomów stosowanych tylko dla celów ochrony przeciwporażeniowej, natomiast wartości bez nawiasów – uziomów dla celów ochrony odgromowej oraz ochrony przeciwporażeniowej.

[a] Zawartość chromu ≥ 16%, niklu ≥ 5%, molibdenu ≥ 2%, węgla ≤ 0,08%

[b] Jako taśma walcowana lub taśma cięta o zaokrąglonych krawędziach.

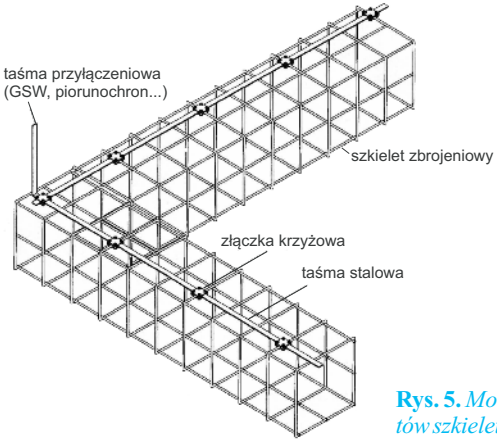
[c] Powłoka powinna być gładka, ciągła i wolna od śladów topnika.

[d] Jeżeli doświadczenie wskazuje, że ryzyko korozji i uszkodzenia mechanicznego jest pomijalnie małe, to dopuszcza się przekrój 16 mm^2.

[e] Ta grubość ma zapobiec uszkodzeniu powłoki miedzianej przy pogrążaniu uziomu. Może ona być obniżona do wartości nie mniejszej niż 100 µm, jeżeli stosuje się specjalne zabiegi zapobiegające uszkodzeniu powłoki przy pogrążaniu (np. wiercenie otworów lub końcówki ochronne) zgodnie z zaleceniami producenta.

Położenie elementów uziomowych w betonie

Stalowe elementy uziomu fundamentowego sztucznego powinny być zalane betonem w taki sposób, aby ze wszystkich stron były otulone warstwą betonu o grubości co najmniej 5 cm i aby beton dobrze do nich przylegał. Płaskownik bądź pręt uziomowy nie powinien zmieniać położenia podczas wylewania mieszanki betonowej. W tym celu w fundamencie niezbrojonym umocowuje się go na wspornikach dystansowych wbitych w podłoże (rys. 4), a w fundamencie zbrojonym prętami lub siatką przymocowuje się do zbrojenia (rys. 5).

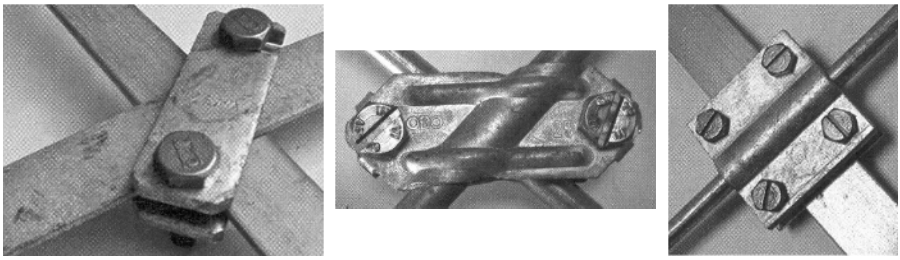


Rys. 5. *Mocowanie płaskownika uziomowego do prętów szkieletu zbrojeniowego (firma OBO Bettermann)*

Płaskownik w zasadzie powinien być ustawiony dłuższym bokiem pionowo (*na żebro, na sztorc*), co sprzyja dobremu przyleganiu betonu. Dopuszcza się położenie *na płask*, jeżeli ułatwia to układanie płaskownika mocowanego do zbrojenia (rys. 5).

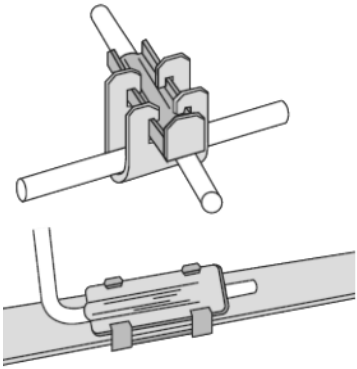
Łączenie elementów uziomowych

Łączenie prętów bądź płaskowników uziomowych ze sobą powinno być wykonane w sposób gwarantujący małą rezystancję elektryczną i dużą wytrzymałość mechaniczną połączenia. Łączenie przez owinięcie drutem wiązałkowym nie wchodzi w rachubę. Preferować należy spawanie łukowe, zwłaszcza w przypadku odgałęziania przewodów przyłączeniowych uziomu wyprowadzanych z fundamentu.



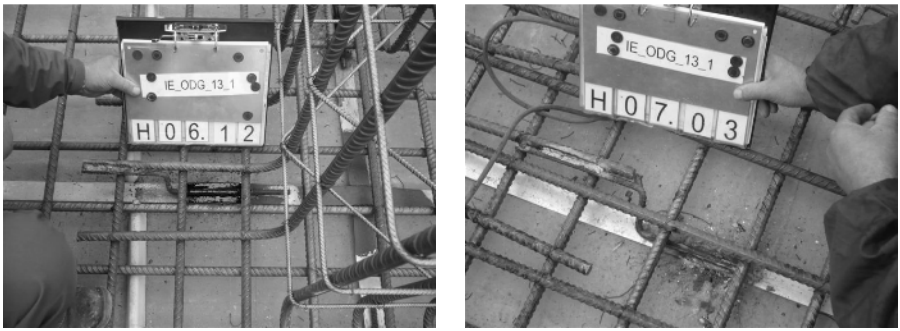
Rys. 6. *Niektóre odmiany zacisków gwintowych do łączenia elementów uziomowych*

Zaciski gwintowe (rys. 6), przez producenta przeznaczone do pracy w betonie bądź gruncie i odpowiednio oznakowane, są dopuszczalne, ale lepiej ograniczać ich stosowanie do małych budów, gdzie trudniej o spawacza. Początkowo były do tych celów dopuszczone również zaciski zakleszczające klinowe (rys. 7), ale od kilku lat są zakazane w betonie zagęszczanym maszynowo, za pomocą wibratorów. Nie są też one dozwolone w gruncie.



Rys. 7. *Zaciski zakleszczające klinowe niedozwolone w gruncie ani w betonie*

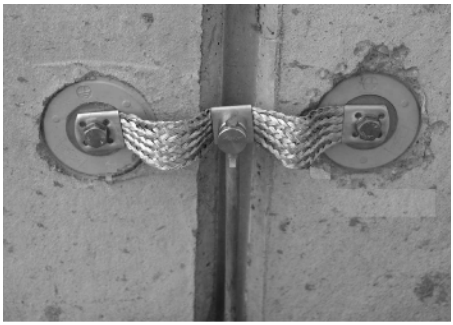
W fundamencie zbrojonym prętami lub siatką uziom fundamentowy mocuje się do zbrojenia w odstępach co dwa metry. Ustala to położenie płaskownika lub pręta uziomowego i zwiększa łączną powierzchnię elementów stalowych odprowadzających prąd, czyli zmniejsza gęstość prądu na granicy stal/beton. Połączenia uziomu sztucznego z prętami zbrojeniowymi wykonuje się za pomocą zacisków gwintowych. Łączenie przez spawanie nie jest tu potrzebne, a wymagałoby uprzednich uzgodnień z inżynierem odpowiedzialnym za wytrzymałość konstrukcji budowli.



Rys. 8. *Dokumentacja fotograficzna powykonawcza połączeń prętów zbrojeniowych z płaskownikiem uziomowym*

Jeżeli mimo wszystko zapada decyzja wykorzystania zbrojenia w roli uziomu fundamentowego naturalnego, to – w celu zapewnienia jego ciągłości elektrycznej – pręty zbrojeniowe spawa się na zakładkę o długości co najmniej 30 mm. Wybór miejsc połączeń i szczegóły ich wykonania powinny być przedmiotem uzgodnień elektryka

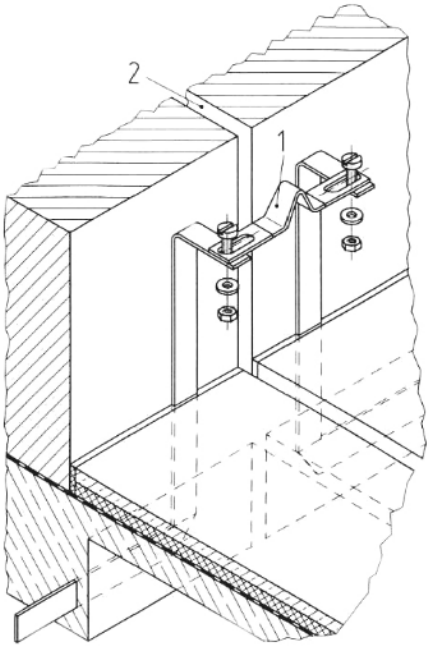
z konstruktorem budowli. Przed wylaniem betonu wszystkie połączenia powinny być sprawdzone przez elektryka. Pożądana jest dokumentacja fotograficzna powykonawcza przedstawiająca każde połączenie, z precyzyjnym określeniem jego umiejscowienia w obiekcie (rys. 8).



Rys. 9. *Połączenie podatne przewodów uziomu fundamentowego przy szczelinie dylatacyjnej budynku z wykorzystaniem wypustów uziemiających DEHN Erdungsfestpunkt [2]*

Przejście przez szczelinę dylatacyjną

Nie dopuszcza się bezpośredniego przechodzenia uziomu fundamentowego przez szczelinę dylatacyjną budynku. Po obu stronach szczeliny końcówki uziomu powinny być wyprowadzone do wnętrza budynku w celu ich połączenia mostkiem podatnym (elastycznym) w miejscu dostępnym do kontroli (rys. 9, 10).



1 – połączenie podatne,

2 – szczelina dylatacyjna

Rys. 10. *Połączenie dwóch części uziomu fundamentowego przy szczelinie dylatacyjnej budynku [14]*

Przewody przyłączeniowe uziomu fundamentowego

Przewody przyłączeniowe uziomu (niem. *Anschlussfahnen*), wyprowadzone z fundamentu, powinny być chronione od korozji. Stosuje się przewody ze stali cynkowanej albo ze stali nierdzewnej. Zawsze jest potrzebny przewód do połączenia z główną szyną wyrównawczą, wyprowadzony w przestrzeni przyłączowej budynku (pomieszczenie przyłączowe, ściana przyłączowa lub wnęka przyłączowa). Przewód powinien wystawać co najmniej 1,5 m ze ściany lub podłogi. Jeżeli budynek ma szczeliny dylatacyjne, to każda z nich wymaga wyprowadzenia we wnętrzu budynku dwóch przewodów z końców dwóch odcinków uziomu (rys. 9, 10). Ponadto jeżeli budynek ma piorunochron, to kolejne przewody przyłączeniowe wyprowadza się na zewnątrz budynku w miejscach usytuowania przewodów odprowadzających (rys. 1).

Otulina betonowa uziomu

Wytyczne wykonywania uziomów fundamentowych nie formułują wymagań odnośnie do rezystywności elektrycznej otuliny betonowej ani innych jej parametrów. Zależnie od okoliczności uziom znajduje się w samym fundamencie, tzn. w jego części nośnej, albo w spodniej warstwie chudego betonu, która może być oddzielona od fundamentu warstwami izolacyjnymi. Jakość betonu bezpośrednio otaczającego uziom wynika z wymagań budowlanych. W każdym przypadku rezystywność betonu pogrążonego w wilgotnym gruncie jest wystarczająco mała, a rozrzut jej wartości ma znacznie mniejsze znaczenie niż ewentualna dodatkowa rezystancja wprowadzana chociażby przez warstwy czy powłoki stanowiące izolację przeciwwilgociową fundamentów.

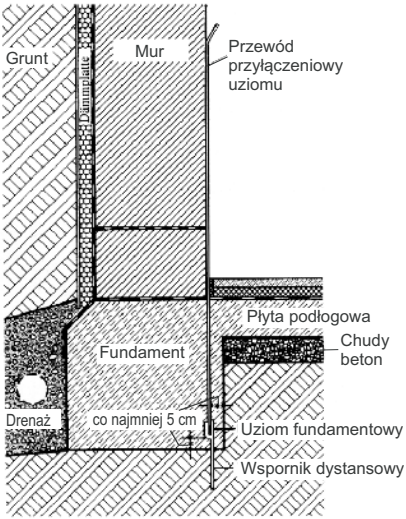
4. Wykonanie uziomu w fundamencie nieizolowanym lub z izolacją przeciwwilgociową

Wykonanie uziomu w pewnym stopniu zależy od sposobu fundamentowania. Większość budynków ma **fundamenty płytkie**, o głębokości fundamentowania nieprzekraczającej 3 m, oparte bezpośrednio na warstwie nośnej. Fundamenty murowane wykonuje się coraz rzadziej i tylko dla niedużych budynków. Przeważają fundamenty betonowe w całości wylewane na budowie bądź – rzadziej – montowane z prefabrykatów.

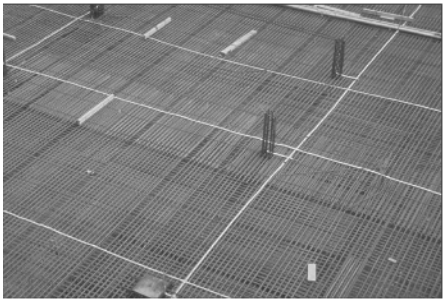
Fundamenty ławowe o podstawie zbliżonej do wydłużonego prostokąta, stosuje się pod ściany lub blisko siebie stojące w szeregu słupy. Jeżeli fundament nie jest zbrojony prętami, to uziom mocuje się na wspornikach dystansowych wbitych w podłoże (rys. 4, 11). Jeżeli jest zbrojony, to zazwyczaj zbrojenie i betonowanie odbywa się na budowie. Ławy o większej nośności zbroi się wzdłużnie prętami, np. czterema prętami Ø 10÷16 mm, układanymi na zakładkę co najmniej 50 cm, rozstawionymi co 10÷14 cm. Pręty łączy się strzemionami o średnicy 4,5÷6 mm w odstępach co ok. 30 cm. Pręt lub płaskownik uziomowy mocuje się wtedy do dolnych prętów zbrojeniowych. Pod ławą może być warstwa chudego betonu (o proporcji cement/kruszywo ok. 1:7) grubości 10 cm, wylana na pospółce, czyli podsypce żwirowo-piaskowej.

Fundamenty stopowe występują głównie w budowlach typu przemysłowego o wielu podporach opartych na osobnych stopach. Uziom fundamentowy sztuczny pojedynczej stopy wykonuje się z płaskownika lub pręta okrągłego o długości co najmniej 2,5 m. Na najniższej kondygnacji lub pod nią uziomy pojedynczych stóp

łączy się w otok bądź kratę, tworząc uziom fundamentowy budowli. Jeżeli odstępy między podporami są małe (poniżej 5 m), to wystarczy co drugą stopę fundamentową wyposażyć w uziom fundamentowy sztuczny i włączyć w otok. Zbrojenie pozostałych stóp łączy się przewodem wyrównawczym z otokiem bądź kratą uziomową.



Rys. 11. *Uziom fundamentowy w ławie fundamentowej niezbrojonej [14]*



Rys. 12. *Uziom fundamentowy sztuczny układany na siatce zbrojeniowej dużej płyty fundamentowej [2]*

Fundamenty płytowe mają postać płyty o grubości zazwyczaj 20÷30 cm, zbrojonej prętami i/lub siatką. Płyta zostaje posadowiona powyżej poziomu wód gruntowych pod całym budynkiem lub pod jego główną częścią. W celu ustabilizowania położenia płyta może być oparta na belkach wystających od dołu albo na żebrach jako belkach ciągłych. Uziom fundamentowy ma postać płaskownika bądź pręta umocowanego do najniższego obrzeżnego wieńca zbrojeń, tworząc otok w posadowieniu ścian zewnętrznych budynku. W płycie fundamentowej o wymiarach przekraczających 20×20 m dodaje się połączenia wzdłużne i/lub poprzeczne odpowiednio zagęszczające kratę uziomową (rys. 12). Jest pożądane, aby ich usytuowanie pokrywało się z posadowieniem wewnętrznych ścian konstrukcyjnych budynku.

Fundamenty głębokie, osiągające od trzech do kilkudziesięciu metrów, wykorzystujące pale fundamentowe jako fundament pomocniczy, stosuje się, jeżeli nośność podłoża jest niewystarczająca do bezpośredniego oparcia na nim właściwego fundamentu. W roli uziomu fundamentowego najlepiej wykorzystać wtedy zbrojenie pali fundamentowych. Jeśli pali jest dużo, np. kilkaset, to wystarczy do celów uziemieniowych użyć tylko wybranych pali, w pierwszej kolejności – pali obrzeżnych. Nad palami, w płycie fundamentowej budowli jest wtedy zatopiona w betonie krata wyrównawcza, o okach nie większych niż 20×20 m, i z węzłami tej kraty łączy się zbrojenie najbliższych pali [9]. Tę kratę wyrównawczą traktuje się i wykorzystuje analogicznie jak kratę uziomową w fundamentach płytkich.

Fundament jest narażony co najmniej na działanie wilgoci zawartej w gruncie oraz wody zaskórnej[1] i wymaga z tego powodu **izolacji przeciwwilgociowej**, tzn. hydroizolacji nie narażonej na długotrwały napór wody pod ciśnieniem hydrostatycznym.

Jeżeli najwyższy możliwy poziom wody gruntowej nie sięga poziomu fundamentowania, a grunt przy budynku jest niespoisty, dobrze przepuszczalny, i woda opadowa szybko wsiąka poniżej poziomu posadowienia budynku, to może wystarczyć **izolacja przeciwwilgociowa pozioma** (z papy asfaltowej lub folii polwinitowej), zapobiegająca kapilarnemu wznoszeniu wilgoci w ścianach i podłodze najniższej kondygnacji. W gruncie spoistym to też wystarcza, jeżeli doda się drenaż opaskowy (wokół fundamentów).

Może być ponadto potrzebna **izolacja przeciwwilgociowa pionowa**, jeżeli ściany fundamentowe są wykonane z materiałów nasiąkliwych, jak cegła ceramiczna lub beton komórkowy. Taka izolacja jest też wskazana, jeżeli wody gruntowe zawierają substancje o odczynie kwaśnym, powodujące korozję betonu, np. kwasy humusowe (próchnicowe), co dotyczy gruntów pochodzenia bagiennego, występujących w Polsce przede wszystkim na „ścianie wschodniej": na Pojezierzu Suwalskim, Nizinie Podlaskiej i Polesiu Lubelskim. Ściany gruntuje się rozcieńczoną emulsją asfaltowo-kauczukową, po czym pokrywa na gorąco lepikiem asfaltowym lub na zimno emulsją asfaltowo-kauczukową bądź podobnym preparatem. Warstwa takiej izolacji przeciwwilgociowej ma łączną grubość rzędu 2 mm. Kolejna dodatkowa izolacja elektryczna między fundamentem a gruntem może pojawić się, jeżeli – w celu zabezpieczenia tych powłok hydroizolacyjnych przed uszkodzeniem podczas zasypywania wykopu – osłania się je traconą folią polietylenową tłoczoną albo płytami polistyrenowymi.

Projektując uziom fundamentowy elektryk nie może ignorować hydroizolacji budynku i sposobu jej wykonania. Powinien rozpoznać, czy i w jakim stopniu może ona wpływać na skuteczność projektowanego uziomu i co najważniejsze – czy nie wymusza zmiany koncepcji jego wykonania. Potrzebna jest współpraca w tym zakresie z konstruktorem budynku już na etapie projektowania.

Sama izolacja przeciwwilgociowa nie wyklucza możliwości wykonania zwykłego uziomu fundamentowego, zwłaszcza jeżeli nie obejmuje wszystkich powierzchni fundamentu pogrążonych w gruncie. Może jednak powodować przejściowe, a nawet trwałe zwiększenie rezystancji uziemienia. W przypadku papy i powłok asfaltowych zwiększenie rezystancji uziemienia jest niewielkie i słabnie w ciągu pierwszych kilku miesięcy po wykonaniu. Jeżeli budynek przekazuje się do użytkowania pół roku i dłużej po wykonaniu i izolowaniu fundamentów, a tak na ogół bywa, to przy badaniu odbiorczym instalacji elektrycznej rezystancja uziemienia może już mieć wartość zbliżoną do ustalonej. Trwalszy jest niekorzystny efekt izolacji z nakładanych kompozytów polimerowo-mineralnych. Podobnie jest z izolacją z folii polimerowych, jednakże pod warunkiem ścisłego przestrzegania przepisanej technologii wykonania, o co trudno na polskich budowach.

Badano wpływ folii polietylenowej używanej do innych celów. Chodzi o polietylenową folię budowlaną, o grubości ok. 0,3 mm, układaną z niewielką zakładką (20 cm) na

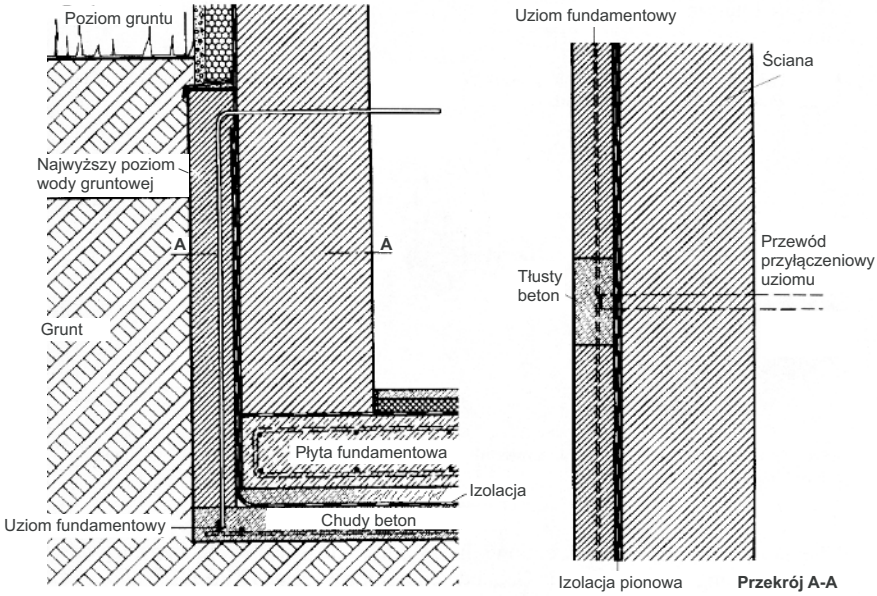
[1)] Woda zaskórna – woda gruntowa okresowo gromadząca się w strefie aeracji po obfitych opadach deszczu lub roztopach wiosennych. Znajduje się blisko powierzchni gruntu (ok. 2 m). Strefa aeracji (strefa napowietrzenia) to strefa między powierzchnią terenu a zwierciadłem wód podziemnych, w której wolne przestrzenie są wypełnione częściowo wodą, a częściowo powietrzem.

podłożu gruntowym przed wylaniem fundamentów, aby chronić wylewaną mieszankę betonową przed zanieczyszczeniem gruntem rodzimym i nadmiernym odwodnieniem bezpośrednio po wylaniu i w okresie pielęgnacji świeżego betonu. Obecność tej folii trwale zwiększa rezystancję uziemienia uziomu fundamentowego nawet dwukrotnie, jak wykazały pomiary sprawdzające w porównywalnych warunkach: 4,9÷6,5 Ω z folią zamiast 3 Ω bez folii [14].

Natomiast styczność elektryczną fundamentu z gruntem w stopniu niedopuszczalnym pogarszają **maty pęcherzykowe** o całkowitej grubości 8 mm, wykonane z folii polietylenowej 0,6 mm (niem. *Kunststoffnoppenbahne*). Mają one szerokość od dwóch do czterech metrów i są układane z zakładką 20÷25 cm. Układane pod budynkiem, zwłaszcza pod fundamentem płytowym, zastępują wylewkę z chudego betonu bądź pospółkę i stanowią izolację przeciwwilgociową. Jeżeli układa się je na folii budowlanej polietylenowej, to wprowadza się dodatkową rezystancję elektryczną. W takich sytuacjach właściwym rozwiązaniem może być uziom parafundamentowy pogrążony bezpośrednio w gruncie pod budynkiem i/lub wokół niego (rozdz. 5, 6).

5. Wykonanie uziomu w fundamencie mającym izolację przeciwwodną

Izolacja przeciwwodna chroni fundamenty i inne podziemne części budynku przed bezpośrednim naporem wód gruntowych, tzn. przed działaniem wody wywierającej ciśnienie hydrostatyczne. Jest niezbędna w budynkach posadowionych poniżej poziomu wody gruntowej. Wyposaża się je w **fundamenty wannowe** o kształcie skrzyni, której dolną część stanowi płyta fundamentowa, połączona monolitycznie ze ścianami bocznymi przechodzącymi wyżej w ściany budynku.



Rys. 13. *Przykład wykonania uziomu fundamentowego sztucznego w fundamencie wannowym [14]*

Izolacją przeciwwodną może być wielowarstwowa powłoka z mas lub taśm bitumicznych, mas cementowo-polimerowych albo taśm polimerowych. Taka wodoszczelna powłoka może być chroniona przed uszkodzeniami mechanicznymi dodatkowymi warstwami ochronnymi. Ta technika, którą Niemcy nazywają *die Schwarze Wanne* – **czarna wanna** w dosłownym tłumaczeniu – jest już uważana za przestarzałą.

Drugie znane od lat rozwiązanie izolacji przeciwwodnej polega na wylaniu fundamentu wannowego z betonu zwanego wodoszczelnym, czyli betonu o bardzo małej nasiąkliwości, definiowanej jako zdolność wchłaniania wody i określanej przyrostem masy po zmoczeniu. Nie są potrzebne dodatkowe warstwy hydroizolacyjne ani systemy odwadniające (drenażowe). Pozostaje rozwiązać izolację przeciwwodną szczelin dylatacyjnych, jeśli one występują. Ta technika jest znana pod nazwą *die weiße Wanne*, czyli **biała wanna**.

Oba wyżej przedstawione rozwiązania izolacji przeciwwodnej mogą zagrażać dobrej styczności elektrycznej uziomu fundamentowego z gruntem. Jeżeli bliższe rozpoznanie to potwierdza, to uziom fundamentowy sztuczny należy umieścić w spodniej warstwie betonu o grubości co najmniej 10 cm, pod warstwą izolacji przeciwwodnej (rys. 13). Jeżeli nie jest to możliwe, to trzeba się uciekać do dalej opisanego rozwiązania uziomu parafundamentowego budynków o pełnej termoizolacji (rozdz. 6).

W trzecim rozwiązaniu – o nazwie *die braune Wanne*, czyli **brązowa wanna** – izolację przeciwwodną stanowi warstwa bentonitu. Ta technologia w ostatnich latach wypiera starsze rozwiązania w budownictwie, a ponadto znajduje liczne inne zastosowania, zwłaszcza w ochronie środowiska przy tworzeniu barier i przepon izolacyjnych oraz przy przechwytywaniu zanieczyszczeń.

Bentonit to niemal monomineralna skała ilasta, powszechnie występująca w przyrodzie, zawierająca co najmniej 75% **montmorylonitu**[1], minerału z gromady krzemianów. Jeżeli zawartość montmorylonitu jest mniejsza, ale mieści się w granicach 50÷75%, to kopalinę nazywa się iłem bentonitowym. Pod nazwą montmorylonit kryje się ogromna liczba kombinacji składu jakościowego i składu ilościowego minerału oraz kombinacji wzajemnych powiązań poszczególnych ugrupowań w cząsteczce. Z tego powodu nawet skomplikowany wzór ogólny, na przykład jednej z odmian montmorylonitu sodowego w postaci $(Al_{1,67}Mg_{0,33})[(OH)_2|Si_4O_{10}]\cdot Na_{0,33}(H_2O)_4$, niewiele wyjaśnia. Ponadto w procesie przeróbki stosuje się różnorodne technologie modyfikacji składu i budowy cząsteczek w celu uzyskania pożądanych właściwości końcowego produktu, zawierającego – poza montmorylonitem – inne składniki, a także zanieczyszczenia. Zatem pod nazwą handlową bentonit występuje szeroki asortyment produktów o niejednolitych własnościach i każdorazowo należy się kierować danymi odpowiedzialnego producenta.

Do rozważanych tu zastosowań nadaje się przede wszystkim granulowany bentonit sodowy. Ma on bardzo dużą powierzchnię właściwą[2] – tym większą, im drobniejsze uziarnienie – zazwyczaj od 600 do 800 m^2/g, co oznacza, że 10 g bentonitu ma powierzchnię właściwą równą powierzchni boiska do piłki nożnej.

---

[1] Oba terminy pochodzą od nazw miejscowości, w pobliżu których w XIX wieku eksploatowano pierwsze złoża tych minerałów: Fort Benton w stanie Wyoming w USA oraz Montmorillon w departamencie Vienne we Francji.

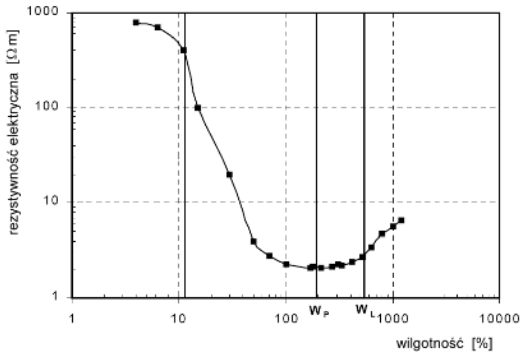
[2] Powierzchnia właściwa – powierzchnia graniczna ziaren i cząstek gruntu w przeliczeniu na jednostkę masy. Oznacza się ją metodą sorpcji błękitu metylowego, wg normy PN-B-04481:1988 [20]. Im większa powierzchnia właściwa, tym większa aktywność fizyczna i chemiczna minerału.

Hydrofilny charakter minerałów ilastych na bazie montmorylonitu oraz ich duża powierzchnia właściwa nadają im szczególną **zdolność pęcznienia** w miarę pochłaniania wody. Przy pęcznieniu swobodnym dochodzi do znacznego, nawet kilkunastokrotnego zwiększenia objętości, ale zarazem – do zmniejszenia spoistości masy bentonitowej wskutek rozmakania. Zdolność pęcznienia charakteryzują [13] dwa parametry:

- **wskaźnik pęcznienia** V_p, czyli iloraz przyrostu objętości próbki ΔV po maksymalnym pęcznieniu swobodnym – co wymaga określonego czasu – do objętości pierwotnej V, czyli $V_p = \Delta V / V$;
- **ciśnienie pęcznienia** P_c, czyli ciśnienie wywierane przez próbkę, która nie ma możliwości zmiany objętości w procesie pęcznienia.

Pierwszy parametr charakteryzuje pęcznienie swobodne, kiedy próbka może dowolnie zwiększać swoją objętość, natomiast drugi – pęcznienie w zamkniętym naczyniu lub innej ograniczonej przestrzeni uniemożliwiającej zmianę objętości próbki.

Dzięki pęcznieniu warstwa uwodnionego bentonitu tworzy zwartą barierę żelową dla przepływu cieczy, o przepuszczalności hydraulicznej rzędu 10^{-11} m/s, czyli mniejszej niż większość skał uchodzących za nieprzepuszczalne. Co więcej, pęcznienie w przestrzeni zamkniętej bariery powoduje samouszczelnianie się bentonitu wskutek powstania dużego ciśnienia wewnętrznego (ciśnienia pęcznienia). Bariera działa tak długo, jak długo utrzymuje się jej uwodnienie. Ten proces jest odwracalny, bentonit może być uwadniany i suszony niemal nieograniczoną liczbę razy, bez utraty pierwotnej zdolności pęcznienia. Może być też wielokrotnie zamrażany i rozmrażany bez utraty tej właściwości, co przecież jest istotne w zastosowaniach do izolowania fundamentów.



Rys. 14. *Zależność rezystywności elektrycznej bentonitu od jego wilgotności [1]*

W zastosowaniach do przeciwwodnego izolowania fundamentów wyposażonych w uziom ważne są własności elektryczne bentonitu. Na rys. 14 przedstawiono wpływ wilgotności bentonitu na jego rezystywność elektryczną. Badaniom poddano [1], pochodzący ze złóż w Wyoming, bentonit sodowy naturalny o następujących parametrach:

- powierzchnia właściwa $756\ m^2/g$
- granica płynności $w_L = 530\%$
- granica plastyczności $w_P = 197\%$
- wskaźnik plastyczności $I_P = w_L - w_P = 333\%$

Do uwadniania użyto wody zdemineralizowanej, aby wyeliminować podejrzenia o wpływie nieznanych zanieczyszczeń wody na wyniki pomiarów. Na rys. 14 są wyróżnione pionową linią ciągłą trzy charakterystyczne poziomy wilgotności badanego bentonitu:

- w = 11% to wilgotność, poniżej której woda adsorpcyjna w porach nie tworzy ciągłych ścieżek przewodzących;
- w_P = 197% to **granica plastyczności**, czyli wilgotność, jaką ma grunt na granicy stanu półzwartego i stanu twardoplastycznego [21];
- w_L = 530% to **granica płynności**, czyli wilgotność, jaką ma grunt na granicy stanu miękkoplastycznego i stanu płynnego, w którym grunt zachowuje się jak ciecz [21].

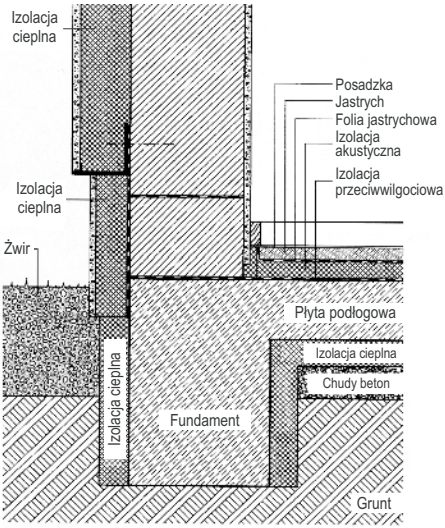
Przy zwiększaniu wilgotności bentonitu, poczynając od stanu praktycznie suchego z rezystywnością około 800 Ωm, rezystywność zaczyna wyraźnie się obniżać po przekroczeniu wilgotności 11%, kiedy woda adsorpcyjna w porach zaczyna tworzyć ciągłe ścieżki przewodzące. W przedziale wilgotności od 10% do 50% rezystywność maleje 100-krotnie, od 400 Ωm do 4 Ωm, co oznacza przejście masy bentonitowej od stanu suchego do stanu wilgotnego. Rezystywność nadal zmniejsza się, osiągając w pobliżu granicy plastyczności wartość minimalną ρ_P = 2,1 Ωm, co można wyjaśnić maksymalną zawartością w porach wody adsorpcyjnej, bez wyraźnego udziału wody wolnej. Rezystywność zmienia się w małym stopniu (od 2,1 do 2,7 Ωm) między granicą plastyczności a granicą płynności, po czym zaczyna wyraźnie zwiększać się w miarę jak pory wypełniają się wolną wodą zdemineralizowaną o dużej rezystywności (około 2500 Ωm), rozrywającą lepiej przewodzące ścieżki wcześniej utworzone przez wodę adsorpcyjną.

Przedstawione cechy bentonitu wskazują, że użycie go do izolacji przeciwwodnej fundamentów gwarantuje trwałą barierę nieprzepuszczalną dla wody i zarazem doskonałe połączenie elektryczne fundamentu z gruntem, wręcz poprawiające skuteczność uziomu fundamentowego. Jeżeli fundament wymaga izolacji przeciwwodnej, to jego bariera bentonitowa nigdy nie jest sucha, ale nawet wtedy miałaby rezystywność elektryczną (800 Ωm) nienajgorszego gruntu. Praktycznie stale miałaby wilgotność na poziomie gwarantującym rezystywność poniżej 10 Ωm, czyli na poziomie najlepiej przewodzących gruntów bagiennych. Nie ma zatem z punktu widzenia skuteczności uziomów fundamentowych żadnych przeciwwskazań do stosowania bentonitu jako izolacji przeciwwodnej budynków i żadnych utrudnień z tego tytułu. Wręcz przeciwnie. Utrudnieniem mogłyby być co najwyżej nierozsądnie zastosowane przypadkowe osłony izolacyjne barier bentonitowych ograniczające styczność elektryczną fundamentów z gruntem.

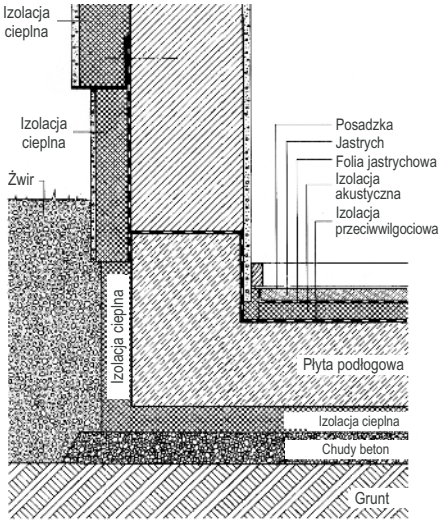
Na pionową i poziomą izolację fundamentów nadają się zwłaszcza **geomaty bentonitowe**, w których warstwa bentonitu jest ciasno uwięziona między – wykonanymi z włókien polipropylenowych – powłoką z włókniny a powłoką z tkaniny, przy czym obie powłoki są zespolone metodą igłowania. Na powierzchniach poziomych maty są po prostu kładzione na warstwie chudego betonu lub podsypki, a na powierzchniach pionowych – mocowane do betonu gwoździami lub wstrzeliwanymi kołkami.

6. Wykonanie uziomu w budynku o pełnej termoizolacji

Na wykonalność ani na skuteczność uziomu fundamentowego nie ma wpływu termoizolacja ścian zewnętrznych budynku, choćby sięgająca poziomu fundamentu. Natomiast wpływ mają warstwy izolacji cieplnej izolujące częściowo (rys. 15) bądź całkowicie (rys. 16) podziemną część budynku, łącznie z powierzchniami spodnimi. Możliwość wykonania zwykłego uziomu fundamentowego jest wtedy wątpliwa albo wręcz wykluczona.



Rys. 15. *Izolacja cieplna całej podziemnej części budynku z wyjątkiem spodniej powierzchni fundamentu [14] – wykonalność uziomu fundamentowego niepewna*



Rys. 16. *Pełna izolacja cieplna podziemnej części budynku [14] – uziom w fundamencie niewykonalny*

Jest tak przede wszystkim w budynkach o pełnej termoizolacji, obejmującej również fundamenty i wszystkie inne podziemne powierzchnie budynku. Zazwyczaj stosuje się dwie warstwy niehigroskopijnych utwardzonych płyt termoizolacyjnych o łącznej grubości 10 cm. Stosuje się do tego celu następujące materiały:

spieniony polistyren ekspandowany XPS	o konduktywności cieplnej	0,029÷0,034 W/m·K
spieniony styropian ekstradowany EPS	o konduktywności cieplnej	0,032÷0,045 W/m·K
spieniony poliuretan	o konduktywności cieplnej	około 0,035 W/m·K
szkło piankowe	o konduktywności cieplnej	około 0,070 W/m·K

Rezystywność elektryczna tych materiałów jest co najmniej 10^{10} razy większa niż rezystywność betonów, a zatem zachowują się one jak doskonała izolacja elektryczna.

Budynek o pełnej termoizolacji, jak każdy inny, potrzebuje uziemionego przewodu ochronnego PE w instalacji elektrycznej, ale bardziej niż inny potrzebuje pioruno-

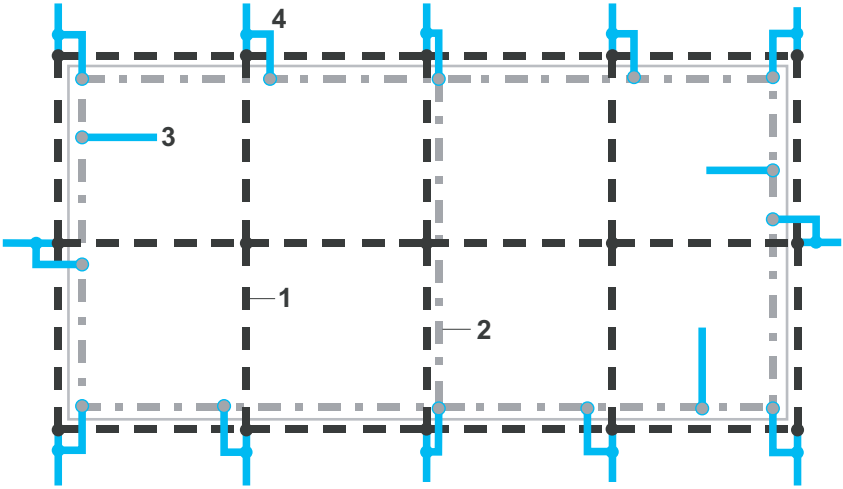
chronu i uziemienia dla tego piorunochronu. Mianowicie gdyby taki budynek nie miał ochrony odgromowej, to w razie uderzenia pioruna prąd wyładowania, poprzez przewody elektryczne i różne elementy metalowe, popłynąłby w kierunku najniższej kondygnacji, po czym – do ziemi. I to przede wszystkim przez posadowienie budynku, przebijając warstwę termoizolacji (rys. 17). Perforacja tej warstwy umożliwiłaby wnikanie wilgoci i tworzyłaby mostki cieplne. Z upływem czasu, zwłaszcza gdyby takie zdarzenia się powtarzały, kosztowna izolacja cieplna pod budynkiem stałaby się nieskuteczna. Z tego względu nawet niewysoki budynek w pełni termoizolowany od spodu, lepiej wyposażyć w piorunochron i dobre uziemienie.

Rys. 17. *Wstępne stadium stawiania budynku o pełnej termoizolacji – widoczna krata uziomowa, na której kładzie się płyty stanowiące poziomą izolację cieplną [2]*

Jeżeli w posadowieniu budynku stosuje się system termoizolacji i/lub hydroizolacji uniemożliwiający wykonanie uziomu fundamentowego *sensu stricto*, to rozwiązaniem równoważnym [7, 26] jest **uziom parafundamentowy** ze stali nierdzewnej ułożony poza fundamentem, w warstwie chudego betonu lub w gruncie, poniżej wszelkich izolacyjnych warstw bądź powłok:

- uziom otokowy mniejszego budynku, o wymiarach nie większych niż 10×10 m, ułożony po obwodzie budynku, tuż przy nim bądź pod nim albo
- uziom kratowy pod większym budynkiem, o okach kraty nie większych niż 10×10 m (rys. 17).

Z kolei w betonowej płycie fundamentowej nad warstwami izolacyjnymi powinna być wykonana **krata wyrównawcza** o okach nie większych niż 20×20 m, wielokrotnie połączona z uziomem (rys. 18). Połączenie tej kraty z uziomem poprzez główną szynę wyrównawczą jest oczywiście niezbędne, ale nie jest wystarczające dla celów ochrony odgromowej. Duże indukcyjne spadki napięcia na długich połączeniach kraty z uziomem mogłyby wywoływać iskry wtórne w warstwie termoizolacji, perforując ją. Aby temu zapobiec, po obwodzie budynku wykonuje się dodatkowe połączenia kraty wyrównawczej z uziomem, najlepiej z podziałką odpowiadającą odstępom między prze-



1 – uziom parafundamentowy o okach nie większych niż 10×10 m pod spodnią warstwą termoizolacji,
2 – krata wyrównawcza o okach nie większych niż 20×20 m w podłodze najniższej kondygnacji,
3 – przewód przyłączeniowy do GSW i innych potrzeb,
4 – połączenie uziomu z kratą wyrównawczą i z przewodem odprowadzającym piorunochronu

Rys. 18. *Konfiguracja instalacji uziemiającej budynku o pełnej termoizolacji – widok z góry [2]*

wodami odprowadzającymi piorunochronu. Bezpośrednio do uziomu przyłącza się też wspomniane przewody odprowadzające rozmieszczone po obwodzie budynku co 10, 15 lub 20 m, w zależności od wybranego poziomu ochrony odgromowej (według tabl. 4 w normie PN-EN 62305-3).

7. Rezystancja uziemienia uziomu fundamentowego

Najprostszy wzór pozwalający obliczyć rezystancję uziemienia uziomu fundamentowego z dokładnością wystarczającą dla celów praktycznych, wywodzi się z następującego rozumowania. Poza budynkami na palach fundamentowych i/lub budynkami o kilku kondygnacjach podziemnych, uziom fundamentowy jest uziomem poziomym powierzchniowym, który można odwzorować ekwipotencjalną, dobrze przewodzącą okrągłą płytą o promieniu r_e, leżącą na powierzchni gruntu jednorodnego o rezystywności ρ. Znany wzór na rezystancję uziemienia R_A takiej płyty ma postać:

$$R_A = \frac{\rho}{4\,r_e}\,. \tag{5.1}$$

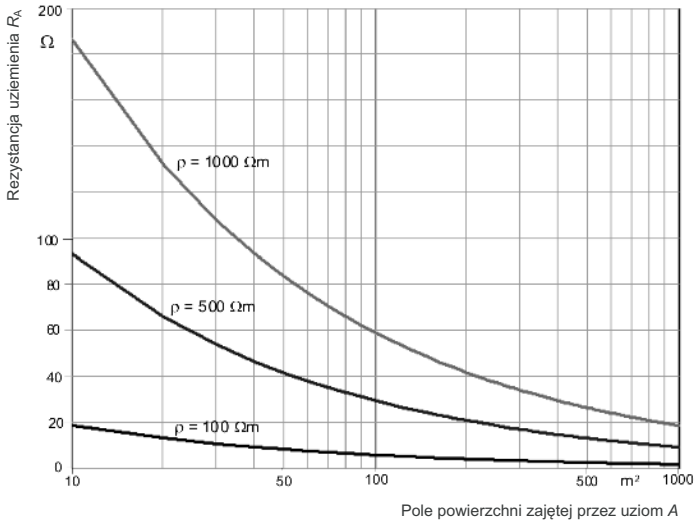
Rezystancja uziemienia uziomu w okrągłej płycie fundamentowej leżącej na powierzchni gruntu byłaby większa, bo ta płyta nie jest metalowa, a od gruntu metalowy uziom jest oddzielony warstwą betonu. Szacuje się, że z tego powodu rezystancja uziemienia jest większa o jedną trzecią (o 33%), co prowadzi do wzoru:

$$R_A = \frac{\rho}{3\,r_e}\,. \tag{5.2}$$

Wzór został wyprowadzony dla okrągłej płyty, o polu powierzchni $A = \pi r_e^2$, co można zapisać w postaci:

$$R_A = \frac{0{,}6 \cdot \rho}{\sqrt{A}}, \tag{5.3}$$

ale odnosi się go do uziomu fundamentowego o dowolnym kształcie obrysu obejmującego pole powierzchni A. Wyniki obliczeń według wzoru (5.3) są zestawione na rys. 19. Odczytując wartości rezystancji uziemienia należy pamiętać, że dla przeciętnego domu jednorodzinnego powierzchnia A wynosi od 80 do 200 m^2. Poniżej tego przedziału są budynki stacji SN/nn, a powyżej – jest budownictwo ogólne i przemysłowe.



Rys. 19. *Rezystancja uziemienia R_A [Ω] uziomu fundamentowego w zależności od pola powierzchni A [m^2] zajętej przez uziom w przypadku gruntu o rezystywności – odpowiednio 100, 500 i 1000 Ωm*

Rezystancja uziemienia uziomu pogrążonego bezpośrednio w jednorodnym gruncie jest proporcjonalna do rezystywności elektrycznej gruntu. W przypadku uziomu fundamentowego, poza rezystywnością gruntu otaczającego betonowy blok fundamentu, pewne znaczenie ma również rezystywność betonu będącego otuliną stalowego uziomu. Beton przewodzi tym lepiej, im tłustszy jest, im więcej zawiera cementu w stosunku do piasku. Rezystywność początkowa betonu wynosi od 150 Ωm (przy proporcji cement:piasek 1:3) do 500 Ωm (przy proporcji 1:7), czyli pokrywa się z rezystywnością dość dobrze przewodzących gruntów. Poza tym przedziałem sytuuje się rezystywność drutobetonu: 40÷70 Ωm [10]. Po kilkunastu latach przebywania w powietrzu, w zadaszonej przestrzeni, podane wartości mogłyby zwiększyć się kilkakrotnie, ale betonu w gruncie to nie dotyczy. Z powyższych względów uproszczone obliczenia rezystancji uziemienia uziomu fundamentowego, jak wyżej, zakładają jednakową rezystywność betonu i otaczającego gruntu. Stosuje się zatem znane wzory, jak gdyby metalowy uziom był pogrążony bezpośrednio w gruncie.

Pod fundamentem występują dość stabilne wartości zarówno temperatury jak i wilgotności, grunt tam nie wysycha w okresie upałów, jak to się dzieje w terenie odkrytym, nie zamarza też zimą, bo fundament zwykle stoi poniżej poziomu przemarzania gruntu. Fundament o większych rozmiarach wprowadza efekt bezwładności, stabilizuje temperaturę i wilgotność otaczającego gruntu. Te czynniki sprawiają, że rok lub dwa po budowie, po ustabilizowaniu się stosunków cieplnych i wodnych w gruncie, w przedziale roku odchylenia wartości rezystancji uziemienia uziomu fundamentowego od wartości średniej nie przekraczają:

- ± 30% w budynku niepodpiwniczonym,
- ± 15% w budynku podpiwniczonym (o jednej lub dwóch kondygnacjach podziemnych),
- ± 5% w budynku z uziomem w postaci pali fundamentowych o długości co najmniej 10 m.

W literaturze spotyka się propozycje metod obliczeniowych [4, 5, 6] uwzględniających szczegóły wykonania uziomu (kształt bryły fundamentu i konfigurację uziomu, nasycenie zbrojeniem, parametry betonu), co sugeruje większą dokładność wyniku, ale niekoniecznie ją zapewnia. Co więcej, poza walorem poznawczym, ta większa dokładność w praktyce inżynierskiej na ogół niczemu nie służy, można się bez niej obyć.

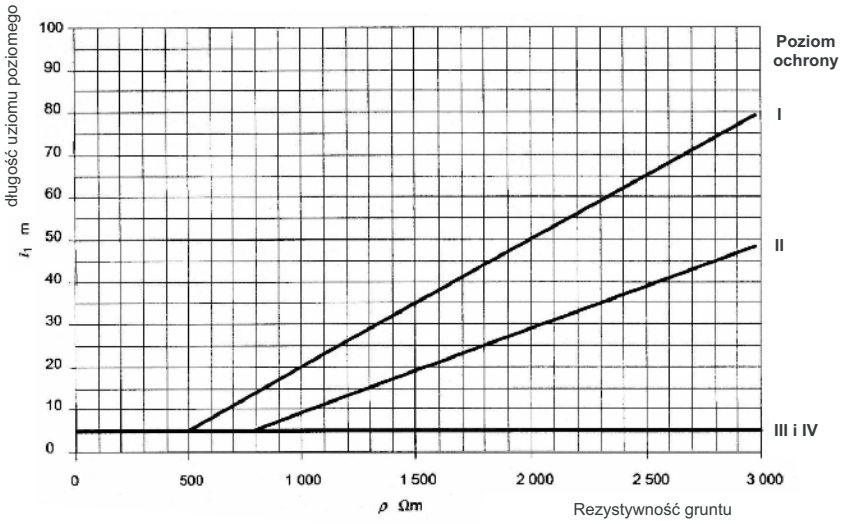
Uziomowi fundamentowemu wykonanemu tylko **dla celów ochrony przeciwporażeniowej** nie stawia się żadnych wymagań odnośnie do wartości rezystancji uziemienia, podobnie jak w przypadku wszelkich uziomów wyrównawczych (sterujących rozkładem potencjału). Nie ma takiego wymagania ani w normie PN-HD 60364-4-41 [17], ani w normie PN-HD 60364-5-54 [18], chociaż obie normy o uziemieniu głównej szyny wyrównawczej wspominają. Wskazują, że uziom jest pożądany, najlepiej fundamentowy, a wartość jego rezystancji uziemienia najwyraźniej jest sprawą drugorzędną. Ile wyjdzie, tyle będzie i tyle wystarczy, również jako uziemienie przewodu ochronnego PE dla celów samoczynnego wyłączania zasilania w instalacji o układzie TT.

Przez nieporozumienie takie wymaganie znalazło się w normie N SEP-E-001 [23], dotyczy tylko zasilania z sieci rozdzielczych o układzie TN i ma treść następującą: „5.3. Przewody PEN (PE) linii elektroenergetycznych powinny być połączone z przewodami ochronnymi PE instalacji elektrycznych odbiorców energii, uziemionymi poprzez główną szynę uziemiającą obiektu budowlanego i jego uziom. Rezystancja takiego uziemienia nie powinna przekraczać 30 Ω. Jeżeli rezystywność gruntu jest większa lub równa 500 Ωm (wydrukowano mylnie 500 Ω), to wartość 30 Ω można zastąpić wartością $\rho_{min}/16$”. Budzi to dwojakiego rodzaju zastrzeżenia. Po pierwsze, to postanowienie, dotyczące instalacji odbiorczej (uziemienia GSW), wykracza poza zakres właściwości normy określony w jej tytule (sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia). Wkracza w dziedzinę wystarczająco opisaną i zawikłaną przez wieloarkuszową normę 60364. Po drugie, to postanowienie zmierza do niepohamowanego polepszania warunków uziemieniowych przewodu PEN sieci rozdzielczej TN na koszt odbiorców. Nie ma uzasadnienia merytorycznego żądanie dodatkowych wielokrotnych uziemień przewodu PEN o rezystancji uziemienia poniżej 30 Ω przy licznych budynkach oddalonych od siebie o kilkanaście czy kilkadziesiąt metrów.

Na szczęście wymagana w N SEP-E-001 wartość rezystancji uziemienia GSW nie jest wygórowana i poprawnie wykonany uziom fundamentowy pozwala ją uzyskać (rys. 19). Wyjątkiem są grunty o dużej rezystywności, wyraźnie przekraczającej 500 Ωm i wtedy treść normy N SEP-E-001 zaczyna ważyć.

Polski elektryk napotykając wymaganie wykonania uziemienia nie wyobraża sobie, że można by przy tym nie określić wymaganej rezystancji uziemienia. No bo jak sprawdzać takie uziemienie i jak sprawdzanie wyceniać? W Austrii podczas 10-letniego, już zakończonego przystosowywania ogółu sieci rozdzielczych nn do standardów układu TN, za wystarczający uznano [27] u odbiorców uziom poziomy o długości 10 m lub uziom pionowy o długości 4,5 m, bez jakiegokolwiek sprawdzania uzyskanej rezystancji uziemienia.

Z uziomem fundamentowym wykorzystywanym również **dla celów ochrony odgromowej** do niedawna był kłopot, bo normy podawały największą dopuszczalną wartość rezystancji uziemienia, od 7 do 50 omów w zależności od okoliczności. Aktualna norma PN-EN 62305 [16] formułuje prostsze zasady. W przypadku uziomu fundamentowego, do którego są przyłączone wszystkie przewody odprowadzające piorunochronu (uziom typu B) przedstawiają się one następująco. Promień zastępczy r_e pola obrysu uziomu powinien być nie mniejszy niż wymiar l_1 odczytany z rys. 20. To wymaganie o postaci $r_e \geq l_1$ jest bardzo łagodne, zwłaszcza przy poziomie ochrony ogromowej III oraz IV. Jeżeli to wymaganie nie jest spełnione, to przy każdym przyłączeniu przewodu odprowadzającego należy dodać uziom skupiony poziomy o długości nie mniejszej niż $(l_1 - r_e)$ albo pionowy o długości nie mniejszej niż $0{,}5 \cdot (l_1 - r_e)$.



Rys. 20. *Najmniejsza dopuszczalna długość l_1 [m] uziomu poziomego przyłączonego do każdego z przewodów odprowadzających w zależności od rezystywności gruntu ρ [Ωm] i poziomu ochrony odgromowej [16]*

W przypadku budynków o poziomie ochrony III lub IV, jak budynki mieszkalne, obowiązuje wymiar $l_1 = 5$ m niezależnie od rezystywności gruntu (rys. 20). Wystarcza uziom fundamentowy o promieniu zastępczym r_e pola obrysu nie mniejszym niż wymiar l_1, co odpowiada kołu o powierzchni co najmniej: $A = \pi \cdot r_e^2 = \pi \cdot 5^2 = 78{,}5\ m^2$. Co najmniej takie pole powierzchni powinien zajmować uziom fundamentowy o dowolnym obrysie. Jaką rezystancję uziemienia pozwala to uzyskać, można sprawdzić na rys. 19. To liberalne podejście może się zmienić przy kolejnej nowelizacji normy PN-EN 62305, bo jednak rozważa się przywrócenie kategorycznego wymagania największej dopuszczalnej rezystancji uziemienia instalacji piorunochronnej.

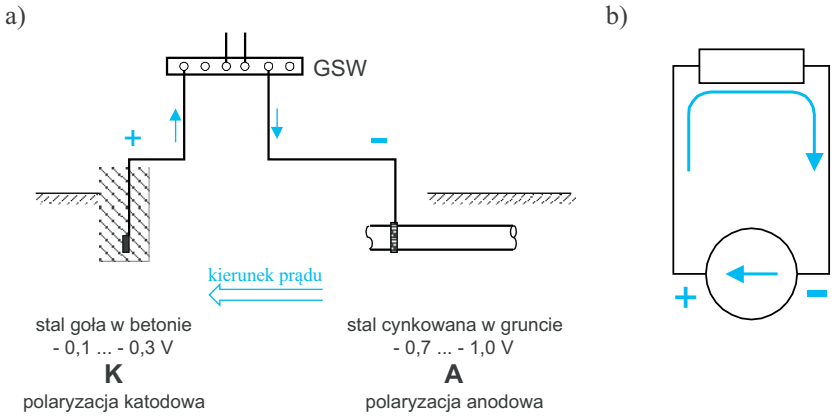
8. Korozja galwaniczna uziomów

Sąsiadujące ze sobą uziomy naturalne bądź sztuczne o powierzchni z różnych metali, umieszczone w wilgotnym gruncie lub betonie, czyli w środowisku elektrolitycznym, polaryzują się, przyjmują – mierzony względem elektrody odniesienia – potencjał elektryczny wynikający z ich pozycji w szeregu napięciowym metali (tabl. 3). Tym samym tworzą **ogniwo galwaniczne**, które dopóty pozostaje w stanie jałowym, dopóki te uziomy nie są ze sobą połączone. Połączenie ich poprzez główną szynę wyrównawczą GSW oznacza zwarcie ogniwa, zamknięcie obwodu zewnętrznego, w którym pod działaniem występującej różnicy potencjałów rzędu 0,5 V i większej (tabl. 4) może nieustannie płynąć prąd stały (rys. 21). Nawet prąd o wartości mierzonej w miliamperach jest groźny, bo płynie nieprzerwanie przez 8760 godzin rocznie.

Tablica 3. Praktyczny szereg napięciowy metali najczęściej spotykanych w konstrukcjach podziemnych [12]

Metal	Środowisko	Potencjał względem elektrody odniesienia $Cu/CuSO_4$ V
Cynk, stal cynkowana	grunt wilgotny	od −0,7 do −1,0
Stal węglowa	grunt wilgotny	od −0,5 do −0,8
Ołów	grunt wilgotny	od −0,5 do −0,7
Stal zardzewiała	grunt wilgotny	od −0,4 do −0,6
Żeliwo	grunt wilgotny	od −0,2 do −0,4
Stal w betonie	beton w wilgotnym gruncie	od −0,1 do −0,3
Miedź, stal miedziowana	grunt wilgotny	od 0,0 do −0,2

W obwodzie zewnętrznym prąd płynie od elektrody o wyższym potencjale do elektrody o niższym potencjale, a w gruncie – jak w każdym źródle – w kierunku przeciwnym (rys. 21). Metal bardziej elektroujemny, polaryzujący się anodowo, ulega korozji. Proces przebiega tym szybciej, im mniejszy jest stosunek pola powierzchni styczności z gruntem lub betonem strefy anodowej S_A do analogicznego pola powierzchni styczności S_K elektrody o przeciwnej biegunowości, polaryzującej się katodowo [1, 8, 14]. Ubytek metalu określa równoważnik elektrochemiczny reakcji, np. ubytek żelaza 9 g/mA·a, a cynku – 11 g/mA·a.



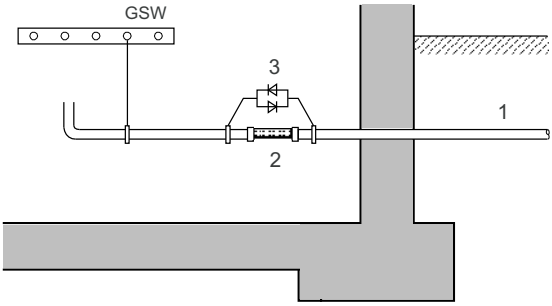
Rys. 21. *Ilustracja zagrożenia korozją galwaniczną przez ogniwo utworzone z dwóch uziomów (o łącznym potencjale elektrochemicznym około 0,65 V) przyłączonych do głównej szyny wyrównawczej: a) stan rzeczywisty; b) schemat zastępczy*

Pogrążone w gruncie rurociągi ze stali cynkowanej (–0,7 ÷ –1,0 V) są zagrożone przez uziom fundamentowy, czyli stal w betonie (–0,1 ÷ –0,3 V). Tym rurociągom teoretycznie jeszcze bardziej zagrażają uziomy ze stali miedziowanej (0,0 ÷ –0,2 V), ale na szczęście mają one na ogół stosunkowo niewielką powierzchnię (S_K). Za sygnał znaczącego zagrożenia korozyjnego uważa się różnicę potencjałów przekraczającą 0,1 V i wartość stosunku pól powierzchni elektrod $S_K/S_A > 100$ lub różnicę potencjałów przekraczającą 0,6 V przy zbliżonych polach powierzchni obu elektrod.

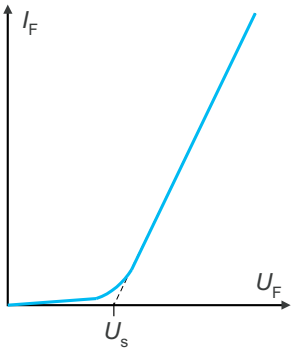
Najprostszym i bardzo skutecznym środkiem ochrony od korozji potencjalnie zagrożonego rurociągu jest pokrycie jego powierzchni trwałymi powłokami elektroizolacyjnymi, co od lat się praktykuje, zwłaszcza w odniesieniu do rurociągów gazowych. Jeżeli to niemożliwe, bo chodzi o inne rurociągi, nieizolowane i dawno ułożone, to wchodzi w rachubę odizolowanie za pomocą wstawki izolacyjnej ich części podziemnej, znajdującej się poza budynkiem, od głównej szyny wyrównawczej GSW budynku. W rurociągu wody wstawka izolacyjna powinna mieć długość nie mniejszą niż 5-krotna średnica wewnętrzna rury i nie mniejszą niż 50 cm. Część podziemna przestaje wtedy pełnić rolę uziomu naturalnego. Do GSW pozostają przyłączone znajdujące się w obrębie budynku metalowe przewody funkcjonalnie powiązane z rurociągiem zasilającym, który jednak został już galwanicznie odizolowany.

Jeżeli obiekt podziemny ma służyć jako uziom naturalny, a zarazem wymaga ochrony od korozji galwanicznej, to należy go przyłączyć do głównej szyny wyrównawczej poprzez wstawkę izolacyjną zbocznikowaną **odgranicznikiem prądu stałego** (ang. *d.c. decoupling device*), w szczególności odgranicznikiem diodowym (rys. 22). Zasada jego działania wykorzystuje **napięcie progowe** diody, czyli najmniejsze napięcie w kierunku przewodzenia, przy którym dioda przewodzi, a ściślej chodzi o wartość napięcia odpowiadającą punktowi przecięcia osi napięcia i linii prostej aproksymującej charakterystykę napięciowo-prądową w kierunku przewodzenia (wartość napięcia U_s na rys. 23). Napięcie progowe wynosi 0,2÷0,3 V dla diod germanowych,

0,6÷0,7 V dla mniejszych diod krzemowych i nawet 1,0 V dla diod mocy. Są to wartości porównywalne z siłą elektromotoryczną ogniw galwanicznych (tabl. 4) i włączenie diody do obwodu może zapobiec przepływowi prądu korozyjnego. Jeżeli napięcie progowe okazuje się za małe, to można je zwielokrotnić łącząc szeregowo dwie diody (rys. 24).

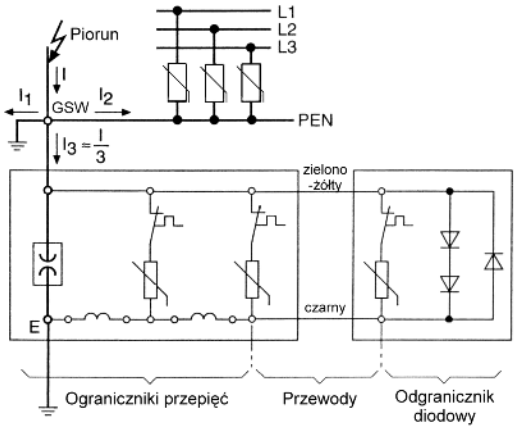


Rys. 22. *Ochrona rurociągu od korozji galwanicznej z tytułu sąsiedztwa z uziomem fundamentowym*
1 – chroniony rurociąg, 2 – wstawka izolacyjna, 3 – odgranicznik diodowy



Rys. 23. *Charakterystyka diody w kierunku przewodzenia*
U_s – napięcie progowe

Odgranicznik diodowy przewodzi tylko w stanach zakłóceniowych. Łączy wtedy uziom z GSW w celu odprowadzania prądu zwarciowego przemiennego albo prądu piorunowego. Powinien być przystosowany do przewodzenia dużych prądów w obu kierunkach i dlatego ma dwie gałęzie z diodami włączonymi przeciwsobnie. W normalnych warunkach pracy uziom jest odizolowany od GSW, dzięki czemu nie jest narażony na korozję galwaniczną. **Odgranicznik praktycznie nie przewodzi, dopóki między jego zaciskami napięcie nie przekracza wartości napięcia progowego diod (0,6÷2 V), a po jej przekroczeniu – zwiera zaciski.**



Rys. 24. *Układ połączeń kompletnego odgranicznika prądu stałego [8]*

Tablica 4. Zestawienie potencjałów elektrochemicznych par metali [22]

Podane liczby oznaczają łączny potencjał elektrochemiczny pary metali (siłę elektromotoryczną ogniwa, jakie tworzą). Należy unikać połączeń znajdujących się ponad linią podziału.

Magnez, stopy magnezu	Cynk, stopy cynku	Stop 80 Sn/20 Zn na stali, Zn na żelazie lub stali	Aluminium	Cd na stali	Stop Al/Mg	Stal miękka	Duraluminium	Ołów	Cr na stali, lut miękki	Cr lub Ni na stali, Sn na stali, stal nierdzewna o zawartości 12% Cr	Stal nierdzewna o wysokiej zawartości Cr	Miedź, stopy miedzi	Lut srebrny, nierdzewna stal austenityczna	Ni na stali	Srebro	Rh na Ag na Cu, stop srebro/złoto	Węgiel	Złoto, platyna	
0	0,05	0,55	0,7	0,8	0,85	0,9	1,0	1,05	1,1	1,15	1,25	1,35	1,4	1,45	1,6	1,65	1,7	1,75	Magnez, stopy magnezu
	0	0,05	0,2	0,3	0,35	0,4	0,5	0,55	0,6	0,65	0,75	0,85	0,9	0,95	1,1	1,15	1,2	1,25	Cynk, stopy cynku
		0	0,15	0,25	0,3	0,35	0,45	0,5	0,55	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	1,05	1,1	1,15	1,2	Stop 80 Sn/20 Zn na stali, Zn na żelazie lub stali
			0	0,1	0,15	0,2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,55	0,65	0,7	0,75	0,9	0,95	1,0	1,05	Aluminium
				0	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,45	0,55	0,6	0,65	0,8	0,85	0,9	0,95	Cd na stali
					0	0,05	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,75	0,8	0,85	0,9	Stop Al/Mg
						0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,35	0,45	0,5	0,55	0,7	0,75	0,8	0,85	Stal miękka
							0	0,05	0,1	0,15	0,25	0,35	0,4	0,45	0,6	0,65	0,7	0,75	Duraluminium
								0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,35	0,4	0,55	0,6	0,66	0,7	Ołów
									0	0,05	0,15	0,25	0,3	0,35	0,5	0,55	0,6	0,65	Cr na stali, lut miękki
										0	0,1	0,2	0,25	0,3	0,45	0,5	0,55	0,6	Cr lub Ni na stali, Sn na stali, stal nierdzewna o zawartości 12% Cr
											0	0,1	0,15	0,2	0,35	0,4	0,45	0,5	Stal nierdzewna o wysokiej zawartości Cr
												0	0,05	0,1	0,25	0,3	0,35	0,4	Miedź, stopy miedzi
													0	0,05	0,2	0,25	0,3	0,35	Lut srebrny, nierdzewna stal austenityczna
														0	0,15	0,2	0,25	0,3	Ni na stali
															0	0,05	0,1	0,15	Srebro
																0	0,05	0,1	Rh na Ag na Cu, stop srebro/złoto
																	0	0,05	Węgiel
																		0	Złoto, platyna

Ag – srebro, Al – aluminium, Cr – chrom, Cd – kadm, Cu – miedź
Mg – magnez, Ni – nikiel, Rh – rod, Sn – cyna, Zn – cynk

Odgraniczniki diodowe są w niektórych krajach stosowane od lat i są zaaprobowane przez inspekcję energetyczną, np. przez szwajcarski Eidgenössisches Starkstrominspektorat [8]. Przykładowe parametry odgranicznika w wykonaniu fabrycznym (rys. 24) są następujące: napięcie progowe ± 2,5 V/0,10 A, prąd ciągły 35 A, obciążalność krótkotrwała 12 kA (10 ms) oraz 63 kA (10/350 μs).

Odgraniczniki przydają się też przy podziemnych instalacjach objętych ochroną katodową, którym inne pobliskie metalowe obiekty podziemne mogą odprowadzać (potocznie „podkradać") prąd ochrony.

9. Sprawdzanie odbiorcze uziomu fundamentowego

Najważniejszym etapem sprawdzania stanu technicznego uziomów, zwłaszcza uziomów fundamentowych oraz wszelkich zabetonowanych lub zamurowanych, naturalnych i sztucznych przewodów ochronnych, uziemiających i wyrównawczych są ich „badania prenatalne", czyli drobiazgowe kontrole dokonane przez elektryka po ukończeniu ich montażu, a przed ich zakryciem. Należy sprawdzić, czy są zgodne z projektem oraz z wymaganiami norm i przepisów: materiały użyte na uziomy i przewody, ich wymiary poprzeczne bądź przekroje żył, trasy ułożenia i sposób mocowania oraz sposób wykonania połączeń. Wszelkie miejsca krytyczne, jak połączenia czy skrzyżowania i różne odstępstwa od projektu wprowadzone na budowie, dobrze jest sfotografować i tak opisać, by ich umiejscowienie w obiekcie dało się łatwo zidentyfikować (rys. 8). Dołączona do dokumentacji powykonawczej płyta kompaktowa, z dobrze opisanym zestawem fotografii, niewiele kosztuje, a może kiedyś okazać się bezcenną pomocą. Przegląd wykonany przed zakryciem robót jest też ostatnią okazją, by w dokumentacji nanieść wszelkie zmiany dokonane w trakcie budowy.

W Internecie jest dostępny (www.dehn.de/pdf/formulare/form_2120.pdf) wzór niemieckiego protokołu przeglądu technicznego instalacji uziomu fundamentowego przy sprawdzaniu odbiorczym lub okresowym. Zwraca uwagę, że nie zawiera on rubryki na wynik pomiaru rezystancji uziemienia uziomu fundamentowego albo innego uziemienia instalacji odbiorczej. W rozdz. 7 wyjaśniono, że w większości przypadków ta wartość nie ma praktycznego znaczenia. Albo normy w ogóle nie podają największej dopuszczalnej wartości rezystancji uziemienia, albo podają wartość tak dużą, że z natury rzeczy nie jest ona przekroczona. Pomiar rezystancji uziemienia uziomu nie jest oczywiście zabroniony, co więcej – dobrze mieć rozeznanie co do jej orientacyjnej wartości. Pamiętać trzeba, że wynik pomiaru nowo wykonanego uziomu jest niestabilny w pierwszych miesiącach po wykonaniu, a jego wartość średnia jest raczej zawyżona.

Rezystancja połączeń między dwoma dowolnymi punktami przyłączeniowymi uziomu nie powinna przekraczać wartości 1,0 Ω. Dobrze to sprawdzić przez wyrywkowe pomiary w miejscach tak dobranych, by uchwycić przypadki najbardziej niekorzystne.

10. Literatura

1. Ait Saadi L.: Méthodologie de contrôle de l'homogénéité et de la perméabilité des barrières argileuses. Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2003.
2. Fundamenterder nach DIN 18014. PowerPoint-Vortrag, DEHN + SÖHNE, 2009.

3. Hering E.: Fundamenterder. Gestaltung. Korrosionsschutz, praktische Ausführung. Verlag Technik, Berlin, 1996.
4. Hering E.: Berechnung der Fundamenterder. Elektropraktiker, 1995, nr 12, s. 1031-1042.
5. Hering E.: Berechnung der Erdungswiderstände bewehrter Fundamente. Elektropraktiker, 1996, nr 10, s. 870-871.
6. Hering E.: Vergleich der Erdungswiderstände von Fundamenterdern und -bewehrungen. Elektropraktiker, 1996, nr 12, s. 1047.
7. Krämer H.-J.: Fundamenterder nach DIN 18014:2007. Elektropraktiker, 2008, nr 9, s. 810-812.
8. Krebser K.: Dioden gegen Korrosion. Abgrenzeinheiten verhindern die Zerstörung von Wasserleitungen. Bull. SEV, 1999, nr 9, s. 37-38.
9. Martyński J., Młodzianowski Z., Musiał E.: Instalacje elektryczne nowoczesnego luksusowego hotelu. Miesięcznik SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych", 2009, nr 120, s. 3-39.
10. Naumann W.: Verhalten von Erderwerkstoffen im Stahlfaserbeton. Elektropraktiker, 2011, nr 3, s. 209-214.
11. Piasecki J.: Uziomy fundamentowe. Przegląd Elektrotechniczny, 1973, nr 7, s. 292-296.
12. Praca zbiorowa: Ochrona elektrochemiczna przed korozją. Teoria i praktyka. WNT Warszawa 1971.
13. Szymański A.: Mechanika gruntów. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2007.
14. Vogt D.: Potentialausgleich, Fundamenterder, Korrosionsgefährdung. VDE-Schriftenreihe Band 35. 5. Auflage. VDE-Verlag, Berlin-Offenbach, 2000.
15. Wołkowiński K.: Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych. WNT, Warszawa, 1967.
16. PN-EN 62305-2 Ochrona odgromowa. Norma wieloarkuszowa.
17. PN-HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
18. PN-HD 60364-5-54:2010 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Uziemienia, przewody ochronne i przewody połączeń ochronnych.
19. IEC 60364-5-54:2011 Low-voltage electrical installations – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements and protective conductors.
20. PN-B-04481:1988 Grunty budowlane – Badania próbek gruntu.
21. PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów – Część 2: Zasady klasyfikowania.
22. PN-T-42107:1993 Bezpieczeństwo urządzeń techniki informatycznej i elektrycznych urządzeń techniki biurowej.
23. N SEP-E-001:2003 Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przeciwporażeniowa.
24. Richtlinien für das Einbetten von Fundamenterdern in Gebäudefundamente. VDEW Frankfurt a. M. 1. Auflage 1966, 2. Auflage 1987.
25. DIN 18014:1994-02 Fundamenterder.
26. DIN 18014:2007-09 Fundamenterder – Allgemeine Planungsgrundlagen.
27. Nullungsverordnung. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, ausgegeben am 16. September 1998, Teil II.