

POŁĄCZENIA WYRÓWNAWCZE JAKO OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA UZUPEŁNIAJĄCA

1. Ciernista droga połączeń wyrównawczych w Polsce

Z inicjatywy prof. Jana Piaseckiego połączenia wyrównawcze główne i miejscowe pojawiły się 40 lat temu w projekcie normy o ochronie przeciwporażeniowej. Po wielu perypetiach norma PN-66/E-05009 [25] została w końcu ustanowiona 29 grudnia 1966 r. z rocznym *vacatio legis*, ale zapobiegliwość aktywistów Zarządu Głównego SEP sprawiła, że została unieważniona zanim zaczęła obowiązywać.

W zamian ukazało się zarządzenie ministerialne [26], przygotowane przez tychże aktywistów w oparciu o tekst normy, który przerobili, jak umieli, a umieli niewiele. Świadczą o tym zmiany, które wprowadzili. Wykreślili wymaganie wykonywania jakichkolwiek połączeń wyrównawczych, dopuścili w przewodach ruchomych o małym przekroju wspólną żyłę ochronną i neutralną (czyli żyłę PEN, chociaż tak jej wtedy nie nazywano) i wprowadzili inne podobne udoskonalenia. Dopiero w roku 1976 nowelizacja zarządzenia resortowego nieśmiało wprowadziła obowiązek wykonywania połączeń wyrównawczych głównych i w nowo wznoszonych budynkach zaczęto je wykonywać, chociaż w wielu przypadkach w sposób dziwaczny, specyficznie polski.

Sprawa połączeń wyrównawczych głównych i miejscowych ponownie skupiła uwagę polskich elektryków po ustanowieniu wieloarkuszowej normy PN/E-05009 z lat 90., a następnie – normy PN-IEC 60364, która miała instalacje elektryczne w Polsce przybliżyć do standardów europejskich. Nie przybliżyła zbyt, bo na przeszkodzie stoi grupa byłych pracowników byłego COBR Elektromontaż, uwikłana w pozał się Boże tłumaczenie polskiej edycji tej normy pod kierunkiem warszawskiego profesora Z. Fliśowskiego, która:

- skutecznie podsuwa do ustanowienia przez PKN buble normalizacyjne pełne błędów wynikających z nieudolnego tłumaczenia oryginału IEC,
- przemycza w normach i w inspirowanych przez siebie rozporządzeniach resortowych wymagania, które nie mają nic wspólnego ze standardami europejskimi, ale zwiększają obroty hurtowni elektrotechnicznych,
- pozuje na ekspertów i rozpowszechnia nierozsądne interpretacje nawet tych wymagań normy, które zostały poprawnie przetłumaczone,
- pozuje na wynalazców i propaguje bzdurne innowacje, m.in. w zakresie połączeń wyrównawczych miejscowych, a następnie usiłuje wymusić ich wdrażanie przy projektowaniu i budowie instalacji.

O aktualnym stanie oficjalnej polskiej wiedzy i mentalności w omawianym zakresie świadczyć mogą następujące przykłady:

a) Wymagany przekrój przewodów wyrównawczych jest w wielu przypadkach uzależniony od wymaganego przekroju odpowiednich przewodów ochronnych określonego w arkuszu 54 normy podstawowej [29]. Zarówno **arkusz PN-92/E-05009/54 z roku 1992, jak i arkusz PN-IEC 60364-5-54 ustanowiony siedem lat później** są anonsowane na stronie tytułowej jako wierne tłumaczenie tych samych dokumentów międzynarodowych (IEC 364-5-54 z roku 1980 wraz ze zmianą A1 z roku 1982). Kto uważnie porówna treść obu edycji arkusza 54, ten będzie zdumiony, że **są to dwa wierne tłumaczenia tego samego oryginału**. Można zrozumieć drobne różnice redakcyjne, ale skąd się wzięły liczne zmiany merytoryczne? Czyżby w poprzednim wiernym tłumaczeniu poprawiono 39 błędów wskazanych w opinii niżej podpisanego z dnia 23 listopada 1998 r.? Otóż poprawiono niektóre błędy, inne pozostawiono, a przy okazji popełniono nowe, których poprzednio nie było. A poza tym, czy nie powinno zastanawiać, że w dobie szybkiego rozwoju techniki wydaje się w Polsce normę opartą na wzorcu sprzed ćwierć wieku?

b) Wstrzymuje się ustanowienie arkusza PN-IEC 60364-4-444 z roku 1996, który od dawna jest

przetłumaczony [28]. Czyżby ze względu na treść zalecenia 444.3.12: „...*W obiektach budowlanych, w których mają być lub mogą być zainstalowane ważne urządzenia informatyczne zaleca się stosować w instalacji poczynając od złącza oddzielny przewód ochronny PE i neutralny N...*”¹? Nie ma odważnych, którzy przyznają się, że w §183 punkt 2) rozporządzenia [27] taki zapis wprowadzili jako wymaganie i to powszechnie obowiązujące, bo Polska jest krajem zamożniejszym niż kraje Unii?

c) Tysiące polskich elektryków dało sobie wmówić nie tylko obowiązkowe rozdzielenie przewodu PEN w złączu każdego budynku, ale również obowiązkowe uziemienie tego właśnie punktu rozdzielania. Nikt głośno nie zapytał, w którym arkuszu normy IEC 60364 jest takie wymaganie. Łatwiej było narażać inwestora na koszty karkołomnych połączeń i uziomów. Dopiero w ostatnio wydanym komentarzu SEP [41] przyznano, że nie jest to konieczne, co więcej – może to być nierozsądne.

d) Przy okazji nowelizacji rozporządzenia z 14 grudnia 1994 r. [27] próbuje się przemycić, i to w kilku paragrafach, wymaganie obejmowania miejscowymi połączeniami wyrównawczymi metalowych kranów, zaworów i innej armatury na rurociągach z tworzyw sztucznych. Jest to pomysł z pogranicza debilizmu zawodowego, wielokrotnie publicznie krytykowany [12, 13], sprzeczny z przepisami zagranicznymi, w których ten problem jest szczegółowo wyjaśniony [22, 24]. Inicjatorzy pomysłu nie mają argumentów, ale mają w swoim gronie urzędnika podsuwającego ministrowi dokumenty do podpisu. Jeśli uda się wyłudzić podpis ministra, to bzdura stanie się prawem, a grupa nieuków –twórcami prawa. Odium spada nie tyle na kilku pomysłodawców, bo każda społeczność zawodowa ma swoich wyrodków, co na wielokrotnie liczniejszą grupę tzw. rzeczoznawców, wykładowców i egzaminatorów, którzy te bzdurę podtrzymują i rozpowszechniają. Jest wśród nich paru polskich profesorów.

e) Główny winowajca prof. Z. Flisowski w wypowiedzi opublikowanej przed miesiącem [5] pod dramatycznym tytułem „*Czy można jeszcze uratować przemysł elektrotechniczny i energoelektrykę polską*” rozpacza, że „*uniemożliwia się wprowadzenie w energoelektryce własnych przepisów ...*” i że „*normalizacja krajowa, zaangażowana w wierne tłumaczenie sążnistych, ... niespójnych i trudnych do pojęcia norm IEC i EN...*”. Odchodząc wreszcie z fotela redaktora naczelnego Przeglądu Elektrotechnicznego Z. Flisowski traktuje czytelników jak małe dzieci, roni przed nimi krokodyle łzy. A kto w kuriozalnym liście z dnia 5 listopada 1996 r. do Komitetu Integracji Europejskiej nakłaniał do storpedowania inicjatywy Instytutu Energetyki i PTPIREE ustanowienia przepisów o ochronie przeciwporażeniowej w sieciach energetyki zawodowej? A kto od wielu lat przewodniczy normalizacyjnej komisji problemowej nr 55 i ponosi główną odpowiedzialność za dziesiątki błędów w arkuszach norm PN/E-05009 i PN-IEC 60364, kto patronuje inicjatorom maniakalnych pomysłów i usiłuje z nich zrobić doktorów nauk, kto *summa summarum* uprawia sabotaż w normalizacji elektrotechnicznej i to w dziedzinie dotyczącej najliczniejszej rzeszy elektryków?

Powyższe przykłady wskazują, że **nie można poprawnie projektować i wykonywać instalacji elektrycznych kierując się obecnymi polskimi przepisami**. Korzystać trzeba z oryginalnych dokumentów europejskich EN i HD, bądź w ich braku z dokumentów IEC, a najlepiej – z norm niemieckich DIN VDE [20, 21, 22, 23] i komentarzy do nich [1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 18].

W zakresie połączeń wyrównawczych nie rzadziej niż co cztery lata ukazuje się w Niemczech komentarz D. Vogta, w najnowszej, piątej już edycji [18] liczący 448 stron. Tej tematyce są też poświęcone całe rozdziały w innych komentarzach do przepisów [9, 16] i w innych wydawnictwach książkowych [6, 7]. Mimo to zainteresowani nie znajdują w nich wyjaśnienia wszelkich spotykanych w praktyce wątpliwości co do połączeń wyrównawczych i co roku publikuje się co najmniej kilkanaście odpowiedzi na zapytania czytelników na ten temat w miesięczniku „*Elektropraktiker*” i w dwutygodniku „*Der Elektro- und Gebäudetechniker*”.

Tak obszernej wiedzy nie można wyczerpująco streścić w krótkim referacie. Może on tylko przedstawić podstawowe zasady wykonywania połączeń wyrównawczych, wystarczające w prostych sytuacjach, i zasygnalizować problemy trudniejsze, wymagające bliższego rozpoznania w obiektach i instalacjach specjalnych. Powinien on również pomóc obnażyć i zwalczyć zabobony firmowane przez agendy Zarządu Głównego SEP.

¹ Już dziesięć lat temu były znane projekty dwóch dokumentów IEC zawierające tę treść. Sygnalizowałem to na spotkaniach roboczych związanych z przygotowaniem projektu przepisów [14], a następnie w referacie [11].

2. Rola różnych połączeń wyrównawczych i ich koordynacja

Połączenia wyrównawcze są to elektryczne połączenia części przewodzących zapewniające, że mają one zbliżony potencjał stale, a jeśli to niemożliwe lub niewskazane, to mają zbliżony potencjał przynajmniej w sytuacjach zakłóceń, na wypadek których zostały wykonane. Połączenia wyrównawcze mogą odgrywać określoną rolę w systemach: ochrony przeciwporażeniowej, ochrony odgromowej i przeciwprzebieciowej, ochrony przeciwzakłóceń, ochrony przeciwwybuchowej i przeciwpożarowej, ochrony przeciwkorozyjnej i ochrony przed elektryzacją statyczną. Jeden i ten sam przewód wyrównawczy (przewód połączenia wyrównawczego) może jednocześnie służyć kilku z wymienionych celów, może spełniać określoną rolę w dwóch i więcej systemach ochrony spośród wyżej wymienionych. Wymagania stawiane połączeniom wyrównawczym przez poszczególne systemy ochrony nie są identyczne, mogą być rozbieżne, trudne do pogodzenia, co więcej – mogą być sprzeczne. Konsekwencje tego są na przykład następujące:

- Dla celów ochrony przeciwporażeniowej wystarcza pojedynczy przewód o określonym przekroju, a jego długość, miejsce przyłączenia i trasa ułożenia mają znaczenie drugorzędne. Jeśli to samo połączenie ma służyć ochronie przeciwzakłóceń odprowadzając prąd przemienny o dużej częstotliwości lub prąd udarowy o dużej stromości, to pierwszorzędne znaczenia nabierają indukcyjność jednostkowa połączenia [$\mu\text{H}/\text{m}$], jego długość, miejsce i sposób przyłączenia oraz liczba połączeń. Jeśli na przykład u końca ekranowanego przewodu ekran nie zostanie połączony na całym obwodzie z przewodzącą obudową urządzenia, lecz uczyni się to za pomocą zwykłego giętkiego przewodu (ok. $1 \mu\text{H}/\text{m}$) o długości 10 cm łączącego ekran z zaciskiem uziemiającym obudowy, to przy przebiegach o częstotliwości 1 MHz impedancja tego odcinka (10 cm) przewodu wprowadza większe zakłócające napięcie różnicowe niż impedancja przenoszenia ekranu na odcinku 1 km.
- Problem o zbliżonym charakterze pojawia się przy wykonywaniu połączeń wyrównawczych ze sztucznymi bądź naturalnymi przewodami odprowadzającymi instalacji piorunochronnych wysokich budynków. Duże indukcyjne spadki napięcia $L \cdot (di/dt)$ wzdłuż takich przewodów sprawiają, że połączenia wyrównawcze wykonane w jednym miejscu są nieskuteczne.
- Jeśli to tylko możliwe, to również w układach ochrony odgromowej wykonuje się połączenia wyrównawcze bezpośrednio (małoporowe połączenia galwaniczne), zapewniające ciągłą ekwipotencjalizację. Jeśli to niedopuszczalne ze względów funkcjonalnych (np. połączenia z przewodami czynnymi) bądź niewskazane ze względów bezpieczeństwa (np. połączenia ze zbiornikami lub rurociągami paliwowymi), to wykonuje się połączenia wyrównawcze ochronnikowe (za pośrednictwem iskierników, ograniczników przepięć lub odgromników). To praktyka stosowana od dawna i powszechnie znana.
- Mniej wiadomo o tym, że niektóre uziomy bądź bezpośrednio połączone z nimi części przewodzące wewnątrz budynku powinny być przyłączane do szyny wyrównawczej nie bezpośrednio, ale poprzez odgranicznik (ang. *d.c. decoupling device*). Dotyczy to uziomów szczególnie narażonych na korozję elektrochemiczną, zwłaszcza uziomów objętych elektrochemiczną ochroną przed korozją (np. ochroną katodową), którym inne pobliskie uziomy mogą odprowadzać (podkraść) prąd ochrony. Odgranicznik (urządzenie odgraniczające prądu stałego) w zasadzie nie przewodzi, dopóki między jego zaciskami napięcie stałe nie przekracza określonej niewielkiej wartości granicznej ($0,6 \div 2 \text{ V}$), a po jej przekroczeniu – praktycznie zwiiera zaciski. Na ogół stosuje się odgraniczniki elektrochemiczne (ogniwo polaryzacyjne Kirka) i odgraniczniki elektroniczne (przeciwsobnie połączone diody).

3. Połączenia wyrównawcze w ochronie przeciwporażeniowej

Połączenia wyrównawcze należą do **środków ochrony przeciwporażeniowej uzupełniającej**. Mogą nie dopuścić do groźnego porażenia, kiedy ochrona podstawowa zawodzi, a ochrona dodatkowa nie zapobiega rażeniu. Nie dopuszczają do wystąpienia między jednocześnie dostępnymi częściami przewodzącymi napięcia dotykowego o wartości niebezpiecznej, które mogłyby pojawić się z powodu:

- uszkodzenia w rozpatrywanej instalacji (zwarcie L-PE lub L-PEN, przerwanie przewodu PEN, zwarcie L-PE i przerwanie przewodu PE),
- uszkodzenia w poprzedzającej sieci zasilającej i „przywleczenia” niebezpiecznego napięcia względem ziemi na przewodzie PEN (zamiana przewodów L i PEN, przerwanie przewodu PEN i/lub zwarcie L-PEN, zwarcie doziemne w zasilającej sieci wysokiego napięcia).

Jeśli nawet w rozpatrywanym obiekcie budowlanym pojawia się groźne napięcie względem ziemi na jakiejś części przewodzącej, to nie dochodzi do porażenia, bo nie ma w zasięgu ręki części przewodzą-

cej o potencjale ziemi. Wszelkie części, które mogłyby wprowadzić potencjał ziemi bądź inny obcy potencjał¹ są bowiem połączone ze sobą za pośrednictwem przewodów wyrównawczych CC (niemieckie oznaczenie PA) i/lub przewodów ochronnych PE. Potencjał o zbliżonej wartości pojawia się na wszystkich takich częściach, nie występują znaczące różnice potencjałów czyli nie występują napięcie dotykowe o znaczącej wartości².

W niektórych przypadkach zastosowanie połączeń wyrównawczych jest **obligatoryjne**. Dotyczy to połączeń wyrównawczych miejscowych (dodatkowych) przepisanych w warunkach szczególnego zagrożenia, tzn. w warunkach podlegających części 7 (arkuszem 700) normy PN-IEC 60364 [31, 32, 33, 34, 35, 36, 37] oraz wszelkich połączeń wyrównawczych głównych. W takich przypadkach z tytułu zastosowania połączeń wyrównawczych nie dopuszcza się złagodzenia wymagań stawianych ochronie przeciwporażeniowej dodatkowej, np. nie dopuszcza się wydłużenia największego dopuszczalnego czasu samoczynnego wyłączenia zasilania.

Są również sytuacje, kiedy zastosowanie połączeń wyrównawczych jest **fakultatywne**. Dotyczy to połączeń wyrównawczych miejscowych poza warunkami szczególnego zagrożenia, a w każdym razie połączeń poza niezbędnie wymaganymi w warunkach szczególnego zagrożenia, a stosuje się je:

- aby niewielkim kosztem poprawić skuteczność i niezawodność ochrony nie oczekując z tego tytułu żadnych odstępstw od wymagań przepisowych,
- aby obniżyć spodziewane napięcie dotykowe przy zwarciach L-PE do wartości dopuszczalnej długotrwale i dzięki temu znieść wymaganie samoczynnego wyłączenia zasilania dla celów ochrony przeciwporażeniowej (arkusz 41, pkt 413.1.2.2); połączenia wyrównawcze miejscowe mogą okazać się tańszym i technicznie doskonalszym sposobem zapewnienia ochrony niż inne wchodzące w rachubę sposoby (zmiana układu zasilania, urządzenia różnicowoprądowe, izolacja ochronna, ...).

4. Uziom fundamentowy jako uziom wyrównawczy

Ważnym składnikiem układu wyrównywania potencjałów w budynku jest uziom fundamentowy. Spełnia on korzystną rolę w różnych wyżej wymienionych systemach ochrony, nie tylko w ochronie przeciwporażeniowej.

Sposób wykonania uziomu fundamentowego [9, 16, 18, 21] zależy od rodzaju fundamentu. W każdym przypadku **powinien to być uziom sztuczny** z taśmy stalowej o przekroju co najmniej 30×3,5 mm lub z pręta stalowego okrągłego o średnicy co najmniej 10 mm. Zaleca się wyroby ze stali gołej, bo ewentualna warstwa ochronna cynku i tak szybko znika wskutek procesów elektrochemicznych. Stali cynkowanej używa się natomiast na połączenia uziomu z szyną wyrównawczą budynku i z ew. mostkiem dylatacyjnym. Nad podłożem fundamentu ławowego uziom umieszcza się tak, aby beton tworzył jego otulinę o grubości nie mniejszej niż 5 cm. W fundamencie wannowym uziom umieszcza się w spodniej warstwie betonu, wzdłuż zewnętrznej krawędzi płyty fundamentowej, poniżej warstwy izolacyjnej. Elementy uziomowe zatapia się w fundamentach ścian zewnętrznych budynku, tak by tworzyły zamknięty kontur. Jeśli jego wymiary są większe niż 20×20 m, to dodaje się dalsze elementy uziomowe, zwłaszcza w fundamentach ścian wewnętrznych, by poszczególne kontury miały wymiary nie przekraczające podanej wartości. Uziom powinien być sprawdzony przez elektryka przed wylaniem betonu.

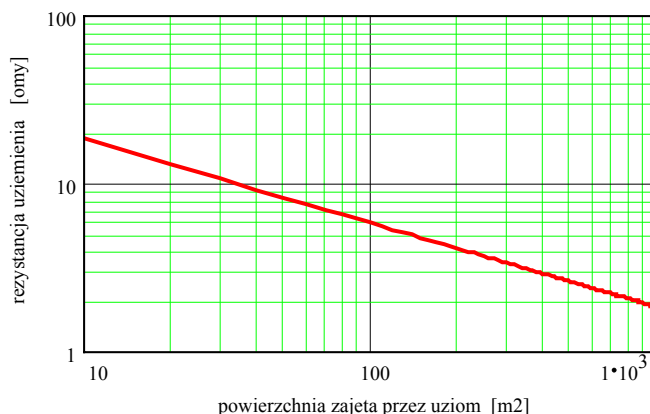
Z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej nie stawia się żadnych wymagań co do rezystancji uziemienia uziomu fundamentowego, podobnie jak w przypadku innych uziomów wyrównawczych. Przy projektowaniu rezystancję tę można z przybliżonych wzorów obliczyć (rys. 1), podczas badań odbiorczych można ją zmierzyć. Akceptuje się każdy wynik, jeśli tylko nie wskazuje on na brak ciągłości przewodów.

Warto zwrócić uwagę, że w normie PN-IEC 60364 nie ma bezwzględnego wymagania, aby główna szyna wyrównawcza budynku była uziemiona w tym budynku lub w jego pobliżu. Jest rzeczą oczywistą, że takie lokalne uziemienie z natury rzeczy jest konieczne, jeśli instalacja ma układ TT, ale w przypadku instalacji TN wystarcza, że przychodzący z zewnątrz przewód PEN (PE) sieci zasilającej jest wielokrotnie uziemiony w jej obrębie. Jeśli mimo to w wielu krajach Unii wymaga się uziemienia głównej szyny

¹ Nie dotyczy części przewodzących, które nie mogą wprowadzać obcego potencjału (np. nie są połączone z ziemią), lecz mogą mieć potencjał swobodny wynikający ze sprzężeń wysokoimpedancyjnych.

² Na podobnej zasadzie opiera się ochrona przeciwporażeniowa dodatkowa w stacjach najwyższego napięcia. W razie zwarcia doziemnego na terenie stacji wszystkie części przewodzące łącznie z przewodzącymi stanowiskami osiągają ogromny potencjał względem ziemi odniesienia (nawet rzędu wielu kilowoltów), ale wszystkie – potencjał o zbliżonej wartości.

wyrównawczej budynku, to wymaganie takie jest zawarte w technicznych warunkach przyłączenia określonych przez dostawcę energii. Zresztą każdy nowo wznoszony budynek ma uziom fundamentowy i to sprawę definitywnie załatwia. Jeśli starszy budynek uziomu fundamentowego nie ma i nie są przy nim dostępne odpowiednie uziomy naturalne, to przy remoncie lub przebudowie wymaga się wykonania uziomu sztucznego. Na przykład w Austrii [19] za wystarczający uważa się uziom poziomy o długości 10 m lub uziom pionowy o długości 4,5 m, niezależnie od tego, jaką rezystancję uziemienia w danych warunkach one zapewniają. Tylko w bogatej Polsce jest do pomyślenia, że udzielne książytko z zakładu energetycznego, wykształcone na tekstach COBR Elektromontaż, żąda – nie wiedząc na jakiej podstawie – rezystancji uziemienia 10 Ω , 5 Ω , a nawet 1 Ω , jeśli fantazja mu dopisze.



Rys. 1. Rezystancja uziemienia [Ω] uziomu fundamentowego w gruncie o rezystywności 100 Ωm w zależności od pola powierzchni [m²] zajętej przez uziom

Wartość rezystancji uziemienia uziomu fundamentowego może nie być obojętna, jeśli ma on służyć również innym celom, a nie tylko ochronie przeciwporażeniowej, np. również ochronie odgromowej. W takim przypadku określa się największą dopuszczalną wartość rezystancji uziemienia, np. 10 Ω , ale nie jest potrzebny projekt tak prostego uziemienia. Przychodzi fachowiec z miernikiem i z zapasem prętów uziomowych. Zaczyna je pograżać, mierzy rezystancję uziemienia, a jeśli jest za duża, to pograża wi-bromłotem kolejne pręty tak długo, aż uzyska pożądaną wartość.

W Polsce jest inaczej. W §184 rozporządzenia [27] jest bzdurny zapis „*Jako uziomy ... należy wykorzystywać metalowe konstrukcje budynków, inne metalowe elementy umieszczone w fundamentach stanowiące sztuczny uziom fundamentowy, zbrojenia fundamentów i ścian oraz przewodzące prąd instalacje wodociągowe ...*”. Nie każda metalowa konstrukcja budynku jest uziomem, nie jest nim metalowy dach ani zbrojenie ściany, nie jest nim również instalacja¹ wodociągowa (rurociągi z armaturą w budynku). W Europie² nie wolno już polegać na metalowej rurze wodociągowej w ziemi jako na uziomie, a na rurze wodociągowej w budynku jako na przewodzie wyrównawczym (zastępczym). Jedna i druga w każdej chwili może być wymieniona na rurę z tworzywa izolacyjnego. Brak jednoznacznego wymogu uziomu fundamentowego sztucznego w każdym nowo wznoszonym budynku, z określeniem sposobu wykonania, jest jednym z poważniejszych mankamentów rozporządzenia [27].

Nieudolnie sugerowane w tym rozporządzeniu wykonanie naturalnego uziomu fundamentowego, z wykorzystaniem samego zbrojenia fundamentu, jest już przeżytkiem. W takim przypadku trudno uzyskać niezawodną ciągłość elementów metalowych uziomu, trudniej to elektrykowi sprawdzić i trudniej elektrykowi wyegzekwować od budowlanych, że problem należy do jego kompetencji. Połączenia prętów drutem wiązałkowym i w podobny sposób wykonane są wystarczające przy prądach piorunowych, ale mogą okazać się zawodne przy uszkodzeniach w instalacji lub sieci elektroenergetycznej. Ponadto najpewniej uniemożliwią objęcie uziomu fundamentowego ochroną katodową, która wymaga doskonałej ciągłości elektrycznej chronionego uziomu.

Elektryk, który w Europie XXI wieku, zgadza się na wznoszenie budynku bez uziomu fundamentowego sztucznego i projektuje bądź wykonuje w tym budynku instalację elektryczną, powinien ze wsty-

¹ Instalację wodociągową trzeba odróżniać od sieci wodociągowej (zewnętrznej i wewnętrznej) podobnie, jak odróżnia się instalację elektryczną od sieci elektrycznej.

² Zapisano to jednoznacznie w projekcie nowelizacji niemieckiego odpowiednika arkusza 54 normy PN-IEC 60364 (E DIN VDE 0100 T.540 2000-11).

du zapaść się pod ziemię, najlepiej pod tym wybrakowanym fundamentem. Co rozsądniejsi gdańscy projektanci skutecznie domagali się takich uziomów już kilkanaście lat temu; dziś nie ma usprawiedliwienia dla nikogo, kto postępuje inaczej.

5. Połączenia wyrównawcze główne

Połączenia wyrównawcze główne należy wykonać w **przyziemnej kondygnacji budynku, w pobliżu każdego złącza**, w miejscu dostępnym dla kontroli. Powinny one obejmować:

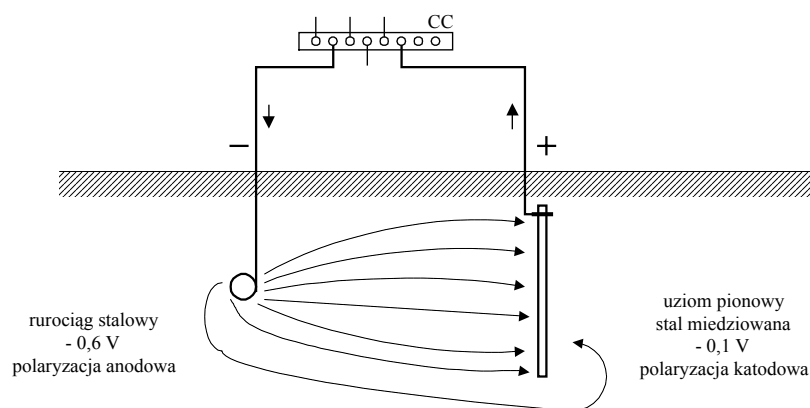
- przewód ochronny PE (PEN) linii zasilających i wszelkie inne wprowadzone do budynku przewody (żyły) ochronne bądź uziemiające, żyły zewnętrzne przewodów współosiowych, metalowe powłoki bądź ekrany wprowadzonych do budynku przewodów teletechnicznych i informatycznych oraz telewizji i radiofonii przewodowej,
- uziom fundamentowy i/lub inne uziomy miejscowe, jeśli występują,
- wszelkie rozprowadzone w budynku rurociągi metalowe (wodne, gazowe, ogrzewnicze, klimatyzacyjne) **niezależnie od tego, czy i jak są uziemione**,
- rozległe metalowe części konstrukcji budynku mogące przenosić potencjał na znaczną odległość, np. między różnymi pomieszczeniami i/lub kondygnacjami: stalową konstrukcję szkieletową budynku, dźwigary stalowe, zbrojenie betonu, metalowe elewacje budynku, metalowe pokrycia dachowe, prowadnice dźwigów.

Połączenia wyrównawcze główne wykonuje się **za pośrednictwem szyny wyrównawczej głównej**, przy czym nie wymaga się, by każda z wymienionych części była przyłączona do szyny osobnym przewodem wyrównawczym.

Utajniony na razie arkusz 444 [28] zaleca **wykonywanie możliwie krótkich połączeń wyrównawczych** (444.3.10) oraz **wprowadzanie wszelkich przyłączy do budynku w tym samym miejscu** (444.3.14). Podobne zapisy od dawna można było znaleźć w projekcie przepisów [14]. Przestrzeganie tych zaleceń pozwala uniknąć pętli przewodzących o dużej powierzchni, w których mogą się indukować niebezpieczne napięcia zagrażające zakłóceniami elektromagnetycznymi i znacznymi przepięciami [16], pozwala zwiększyć niezawodność połączeń wyrównawczych i chroni je od aktów wandalizmu. W większym budynku powinno być zamknięte **pomieszczenie przyłączowe** (niem. *Hausanschlussraum*), do którego wchodzi wszystkie przyłącza, a w małym niepodpiwniczonym budynku podobną rolę może spełniać zamknięty **przedział w szafie przyłączowej**. Główna szyna wyrównawcza i wszelkie połączenia wyrównawcze główne powinny się znaleźć w tym pomieszczeniu bądź przedziale przyłączowym.

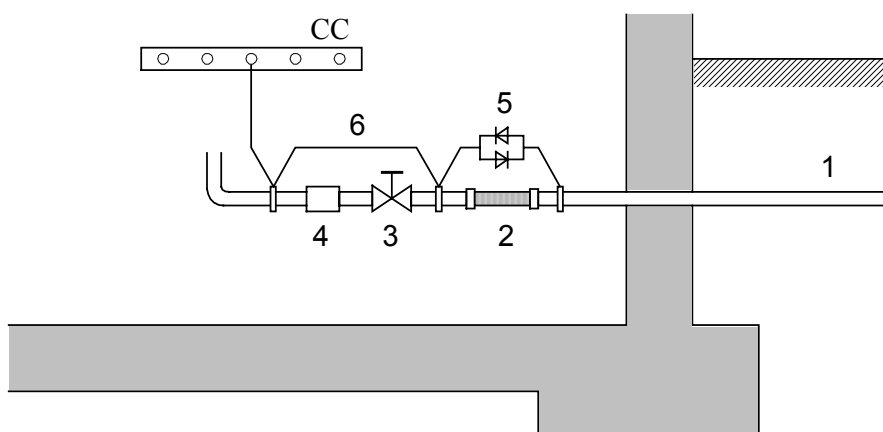
Są jeszcze w Polsce elektrycy przekonani, że poprawnie wykonana główna szyna wyrównawcza to taśma stalowa opasująca w piwnicy cały budynek, do której w różnych miejscach coś się przyłącza. Nic bardziej błędnego, w zwykłym nowo wznoszonym budynku jest to karykatura połączeń wyrównawczych narażona na akty wandalizmu, zwłaszcza w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych. Takie wykonanie można akceptować – jako zło konieczne – wykonując połączenia wyrównawcze w budynku istniejącym, do którego poszczególne przyłącza wchodzi w odległych od siebie miejscach. Otokowe szyny wyrównawcze opasujące pojedyncze pomieszczenia bądź cały budynek, a nawet kraty wyrównawcze, mogą być natomiast potrzebne w obiektach specjalnych [7, 9, 38, 39, 40] dla zapobiegania zakłóceniom elektromagnetycznym generowanym przez prądy przemienne wielkiej częstotliwości i/lub prądy udarowe o dużej stromości.

Żaden właściciel żadnej sieci bądź instalacji doprowadzonej do budynku nie ma prawa zakazywać przyłączenia do głównej szyny wyrównawczej przewodzących rurociągów i innych przewodów, które w budynku są przedłużeniem jego zewnętrznej sieci bądź instalacji. Ma natomiast prawo zakazać wykorzystywania należącej do niego podziemnej infrastruktury jako uziomu naturalnego. To tylko pozorna sprzeczność, którą rozwiązuje się instalując wstawkę izolacyjną między miejscem przyłączenia głównego przewodu wyrównawczego a miejscem wprowadzenia rurociągu do ziemi. Decydując się na to trzeba jednak rozważyć wszelkie możliwe konsekwencje i ewentualne środki zaradcze, np. na wypadek przepływu prądu piorunowego (iskiernik ochronny bocznikujący wstawkę) i na wypadek wymiany wstawki bądź innych robót przy rurociągu wymagających przerwania jego ciągłości (zbochnikowanie na czas robót urządzeniem przypominającym jednobiegunowy uziemiacz przenośny, tzn. linką miedzianą cynowaną o przekroju 16 mm² obustronnie zakończoną zaciskami śrubowymi obejmującymi rurę).



Rys. 2. Ilustracja zagrożenia korozją elektrolityczną przez bimetaliczne ogniwo utworzone z dwóch uziołów przyłączonych do szyny wyrównawczej głównej

Sąsiadujące ze sobą uziomy naturalne i sztuczne o powierzchni z różnych metali, umieszczone w wilgotnym gruncie (środowisku elektrolitycznym), tworzą **ogniwa galwaniczne**. Przyłączenie ich do głównej szyny wyrównawczej oznacza zamknięcie zewnętrznego obwodu, w którym pod działaniem występującej tu różnicy potencjałów rzędu 0,5 V i większej może nieustannie płynąć prąd stały o wartości rzędu od kilku do kilkudziesięciu miliamperów.



Rys. 3. Ochrona rurociągu wodnego od korozji z tytułu sąsiedztwa z uziołem fundamentowym
1 – chroniony rurociąg, 2 – wstawka izolacyjna (o długości co najmniej równej 5-krotnej średnicy wewnętrznej rury i co najmniej 50 cm), 3 – główny zawór, 4 – wodomierz, 5 – odgranicznik diodowy, 6 – stałe połączenie boczniujące, CC – główna szyna wyrównawcza

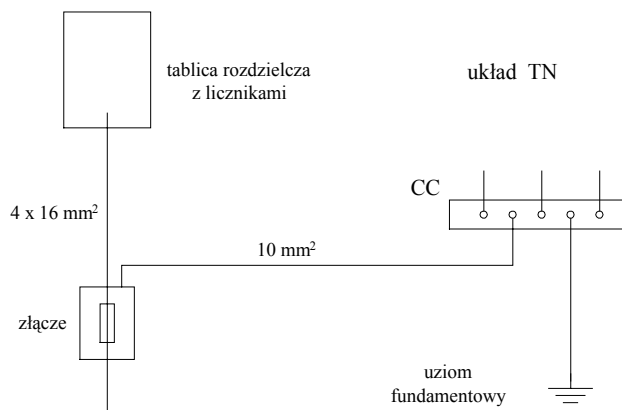
W obwodzie zewnętrznym prąd płynie od elektrody o wyższym potencjale do elektrody o niższym potencjale, a w gruncie – jak w każdym źródle – w kierunku przeciwnym. **Metal bardziej elektroujemny, polaryzujący się anodowo, ulega korozji**¹ tym szybciej, im mniejszy jest stosunek pola jego powierzchni styczności z gruntem S_A do analogicznego pola powierzchni styczności z gruntem S_K elektrody o przeciwnej biegunowości, polaryzującej się katodowo. Rurociągi ze stali zwykłej w gruncie ($-0,5 \div -0,8$ V) bądź ze stali cynkowanej ($-0,7 \div -1,0$ V) są zagrożone przez uziom fundamentowy czyli stal w betonie ($-0,1 \div -0,3$ V). Wspomnianym rurociągom teoretycznie jeszcze bardziej zagrażają uziomy ze stali miedzianej ($0,0 \div -0,2$ V), ale na szczęście na ogół mają one stosunkowo niewielką powierzchnię. Za sygnał znaczącego zagrożenia korozyjnego uważa się różnicę potencjałów przekraczającą 0,1 V i wartość stosunku pól powierzchni elektrod $S_A/S_K < 100$.

Jako środki zaradcze wchodzi w rachubę izolowanie metalowych rurociągów przyłączy², co i z innych powodów się czyni, używanie odpowiedniej stali stopowej na uziomy otokowe i uziomy pionowe przy budynku i wreszcie – przyłączanie wybranych uziołów do szyny wyrównawczej głównej nie bez-

¹ Z prawa Faradaya wynika, że na przykład ubytek żelaza wynosi 9 g/mA·a, a cynku – ok. 11 g/mA·a.

² Zagrożenie korozyjne sięga 30÷50 m od budynków z rozległym uziomem fundamentowym [10].

pośrednio, lecz poprzez ogranicznik diodowy (rys. 3). **Odgraniczniki diodowe** są w niektórych krajach stosowane od lat i zaaprobowane przez inspekcję energetyczną, np. przez szwajcarski Eidgenössischen Starkstrominspektorat [10]. Oto przykładowe ich parametry: napięcie progowe $\pm 2,5 \text{ V}/0,10 \text{ A}$, prąd ciągły 35 A, obciążalność krótkotrwała 12 kA (10 ms), 63 kA (udar 10/350 μs).



Rys. 4. Określanie przekroju głównego przewodu wyrównawczego w domu jednorodzinnym (wszystkie przewody miedziane) [18]

Tablica 1. Wymagany przekrój miedzianych przewodów wyrównawczych głównych i miejscowych

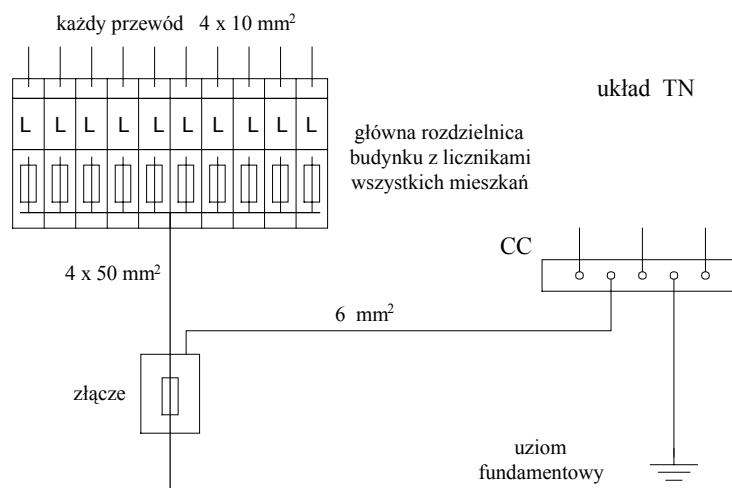
	Połączenia wyrównawcze główne	Połączenia wyrównawcze miejscowe	
		między dwiema częściami przewodzącymi dostępnymi	między częścią przewodzącą dostępną i częścią obcą
Wymagania podstawowe	$S_{CC} \geq 0,5 S_{PEmax}^1)$	$S_{CC} \geq S_{PEmin}^1)$	$S_{CC} \geq 0,5 S_{PE}^1)$
Dopuszczalne złagodzenie wymagania podstawowego	Nie wymaga się przekroju większego niż $25 \text{ mm}^2^1)$	---	---
Wymagania dodatkowe	$S_{CC} \geq 6 \text{ mm}^2^1)$	Przewody CC nieulożone we wspólnej osłonie z przewodami czynnymi: $S_{CC} \geq 2,5 \text{ mm}^2$, jeśli są chronione od uszkodzeń mechanicznych $S_{CC} \geq 4 \text{ mm}^2$, jeśli nie są chronione od uszkodzeń mechanicznych	

¹⁾ W przypadku przewodu innego niż miedziany obowiązuje przekrój zapewniający taką samą konduktancję.
Oznaczenia: S_{CC} – przekrój przewodu wyrównawczego, S_{PEmax} – największy wymagany przekrój przewodu ochronnego w instalacji, S_{PEmin} – najmniejszy wymagany przekrój przewodu ochronnego spośród przewodów doprowadzonych do rozpatrywanych części przewodzących dostępnych, S_{PE} – przekrój przewodu ochronnego doprowadzonego do rozpatrywanej części przewodzącej dostępnej

Ze względu na wytrzymałość mechaniczną przekrój przewodów połączeń wyrównawczych głównych S_{CC} (tabl. 1) powinien być nie mniejszy niż 6 mm^2 . W instalacji o układzie TN, gdzie prąd zwarcia L-PE (L-PEN) jest duży, a przewody wyrównawcze główne mogą partycypować w odprowadzaniu znaczącej jego części, ich przekrój S_{CC} powinien być ponadto nie mniejszy niż połowa największego **wymaganego** przekroju przewodu ochronnego S_{PEmax} instalacji odbiorczej, przy czym nie wymaga się przekroju większego niż 25 mm^2 . Podane wymagania dotyczą przewodów miedzianych, w innych przypadkach obowiązuje przekrój o równoważnej konduktancji.

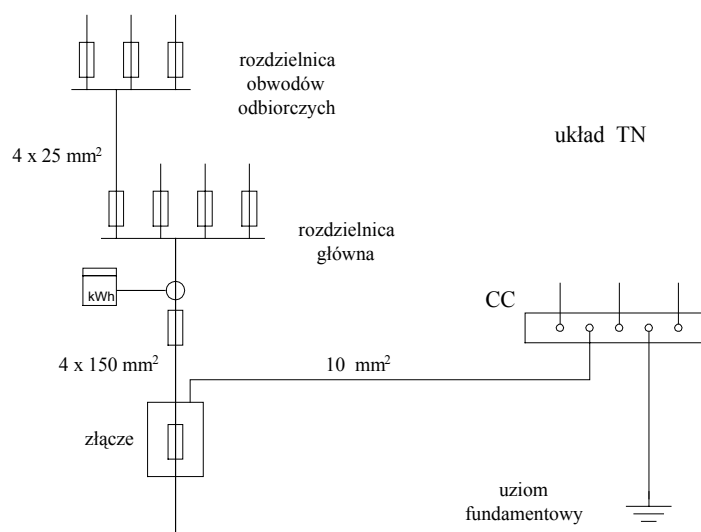
W sytuacji jak na rys. 4 głównym przewodem instalacji jest przewód od złącza do tablicy rozdzielczej z licznikami, z której odchodzą już tylko obwody odbiorcze. Przewód ten ma trzy żyły fazowe o przekroju 16 mm^2 , wymagany przekrój żyły ochronno-neutralnej PEN wynosi 16 mm^2 . Główny przewód wyrównawczy powinien mieć przekrój co najmniej $0,5 \cdot 16 = 8 \text{ mm}^2$. Właściwym przekrojem jest zatem przekrój 10 mm^2 , zarazem nie mniejszy od najmniejszego dopuszczalnego ze względu na wytrzymałość

mechaniczną (6 mm^2).



Rys. 5. Określanie przekroju głównego przewodu wyrównawczego w budynku wielorodzinnym z centralnie zgrupowanymi licznikami (wszystkie przewody miedziane) [18]

Z kolei w instalacji z rys. 5 z głównej rozdzielnicy w pobliżu złącza odchodzą obwody odbiorcze do tablic rozdzielczych mieszkaniowych i to największy z przekrojów tych przewodów służy za podstawę wymiarowania głównego przewodu wyrównawczego. Główny przewód wyrównawczy powinien mieć przekrój co najmniej $0,5 \cdot 10 = 5 \text{ mm}^2$ i zarazem nie mniejszy niż 6 mm^2 . Właściwym przekrojem jest zatem przekrój 6 mm^2 .



Rys. 6. Określanie przekroju głównego przewodu wyrównawczego w instalacji typu przemysłowego (wszystkie przewody miedziane) [18]

Kolejny przykład (rys. 6) dotyczy instalacji typu przemysłowego (przemysł, usługi, administracja). Za podstawę wymiarowania głównego przewodu wyrównawczego służy największy z przekrojów przewodów odchodzących z rozdzielnicy głównej. Przy przewodach (żyłach) fazowych 25 mm^2 obowiązuje przewód PEN o przekroju co najmniej 16 mm^2 . Główny przewód wyrównawczy powinien mieć zatem przekrój co najmniej $0,5 \cdot 16 = 8 \text{ mm}^2$. Właściwym przekrojem jest zatem przekrój 10 mm^2 wystarczający również ze względu na wytrzymałość mechaniczną.

Wszystkie trzy przykłady (rys. 4, 5, 6) dokładnie w tej postaci są od lat publikowane w kolejnych wydaniach komentarza VDE [18], a zatem **reprezentują europejskie standardy** doboru przekroju połączeń wyrównawczych głównych w instalacjach o układzie TN.

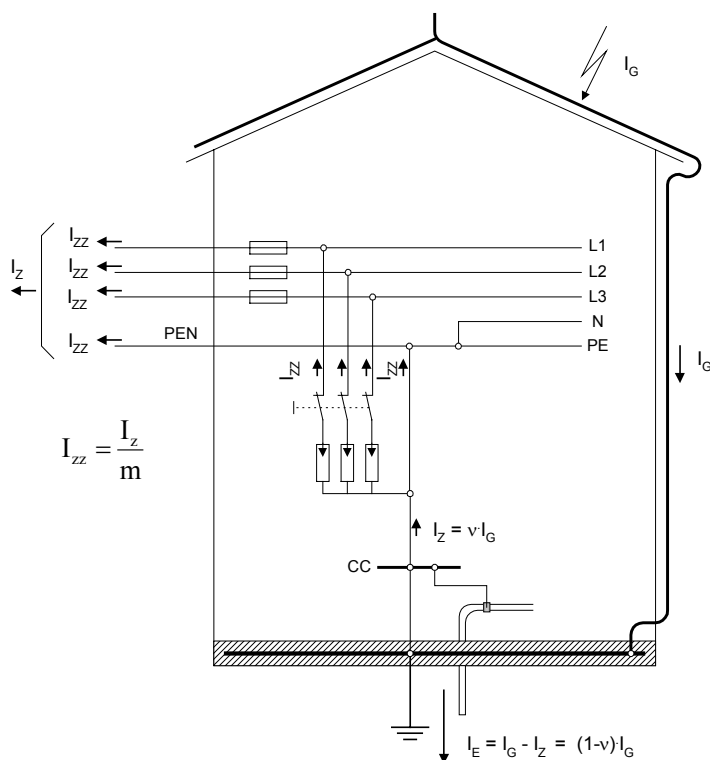
W instalacji o układzie TT, gdzie prąd zwarcia L-PE jest nieduży, samoczynne wyłączenie zasilania dla celów ochrony dodatkowej mogą zapewnić tylko urządzenia różnicowoprądowe. Niedużą wartość

ma również prąd płynący w razie uszkodzenia przez główne przewody wyrównawcze. Łatwo sprawdzić obliczeniowo, że ze względu na nagrzewanie wystarcza przekrój znacznie mniejszy niż wymagany ze względu na wytrzymałość mechaniczną. Stąd znaczne zróżnicowanie najmniejszego dopuszczalnego przekroju przewodów głównych połączeń wyrównawczych zależnie od układu instalacji (tabl. 2).

Tablica 2. Najmniejszy dopuszczalny przekrój głównych przewodów wyrównawczych S_{CC} w zależności od największego wymaganego przekroju przewodu ochronnego S_{PE} (i pośrednio – od zastosowanego w obwodzie głównym przewodu fazowego S_L) instalacji o układzie odpowiednio TT i TN [18]

Przekrój przewodów miedzianych [mm ²]				
S_L	Układ TT		Układ TN	
	S_{PE}	S_{CC}	S_{PE}	S_{CC}
10	2,5	6	10	6
16	2,5	6	16	10
25	2,5	6	16	10
35	2,5	6	16	10
50	2,5	6	25	16
70	2,5	6	35	25
95	2,5	6	50	25
120	2,5	6	70	25
150	2,5	6	70	25

Rozważając narażenia prądowe głównych połączeń wyrównawczych nie należy zapominać, że przy bezpośrednim uderzeniu pioruna w budynek z piorunochronem przepływa przez przewody, ale i inne elementy (np. odgranicznik) znacząca część prądu piorunowego (rys. 7).



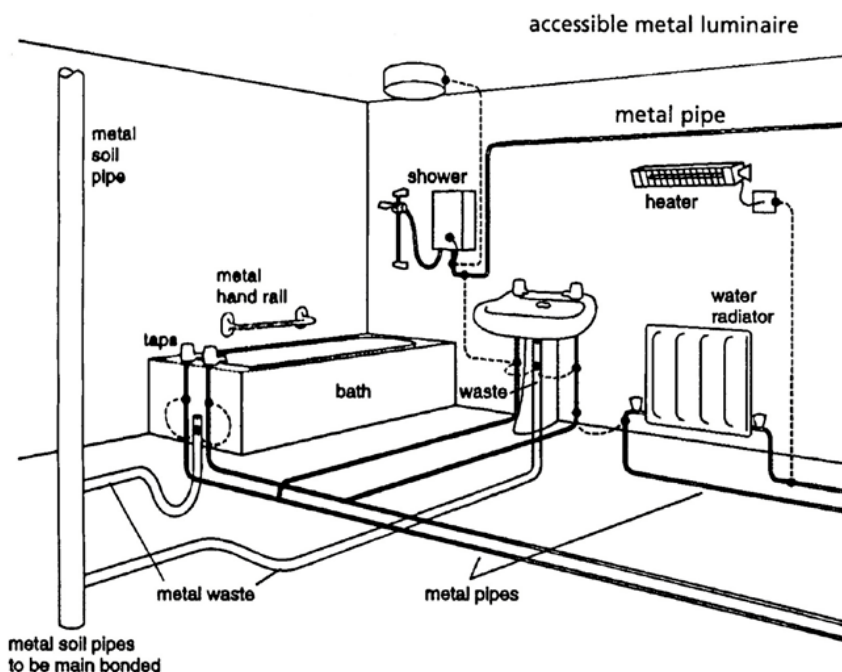
Rys. 7. Rozpływ prądu piorunowego przy bezpośrednim uderzeniu pioruna w budynek z instalacją elektryczną o układzie TN, o liczbie przewodów przyłącza $m = 4$
 $v = I_z/I_G$ – względna wartość prądu piorunowego odprowadzana do sieci zasilającej

Dopóki w budynku nie ma poprawnie wykonanych głównych połączeń wyrównawczych, lepiej w nim nie wykonywać połączeń wyrównawczych miejscowych (dodatkowych). Zwłaszcza przy zasilaniu z układu TN mogłoby dojść do ich upalenia, a następnie – pożaru bądź innych zniszczeń wtórnych.

6. Uziemione połączenia wyrównawcze miejscowe (dodatkowe)

Uziemione połączenia wyrównawcze miejscowe (dodatkowe) są to wszelkie połączenia wyrównawcze poza połączeniami wyrównawczymi głównymi obiektu, **obligatoryjne** – obowiązujące w warunkach szczególnego zagrożenia, ujętych w części 7 normy PN-IEC 60364 (arkusze 700) i/lub **fakultatywne** – zastosowane z inicjatywy projektanta.

Połączenia wyrównawcze miejscowe powinny obejmować występujące w ich zasięgu części przewodzące dostępne i części przewodzące obce. Części te wolno łączyć bezpośrednio, **bez pośrednictwa szyny wyrównawczej**. Przepisy szczegółowe (np. dla sal operacyjnych) mogą nakazywać obejmowanie połączeniami wyrównawczymi miejscowymi części przewodzących dostępnych urządzeń o podwójnej izolacji (klasy ochronności II), które nie mają zacisku ochronnego, ale – w tym celu – mogą mieć zacisk wyrównawczy.



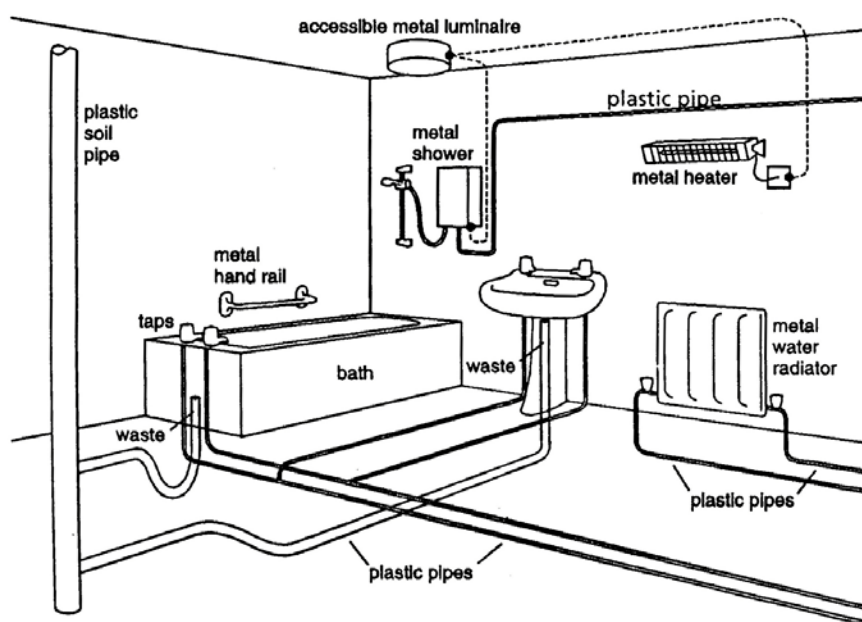
Rys. 8. Połączenia wyrównawcze miejscowe (linie przerywane) w łazience z rurociągami metalowymi – według przepisów brytyjskich [24]

Część przewodząca obca jest to dostępny dla dotyku przewodzący przedmiot, nie będący częścią urządzenia elektrycznego, który **może wprowadzać określony potencjał**, zazwyczaj potencjał ziemi, np. metalowa konstrukcja budowlana, metalowy rurociąg, przewodząca podłoga lub ściana. Chodzi przede wszystkim o nieuchronnie uziemione przewodzące przedmioty dużych rozmiarów, przechodzące przez różne pomieszczenia i/lub kondygnacje. W artykule [12] można znaleźć obszernie uzasadnienie tego stanowiska, poprawne obcojęzyczne definicje *części przewodzącej obcej* z przepisów IEC i różnych krajów Unii oraz uparcie podtrzymywaną niemądrą definicję z normy PN-IEC.

Nie są częściami przewodzącymi obcymi i nie podlegają połączeniom wyrównawczym przedmioty metalowe, który nie są w stanie **wprowadzić** obcego potencjału, np. nie połączone z ew. metalową konstrukcją budynku takie elementy, jak metalowa półka lub szafka¹ w łazience, metalowy uchwyt przy

¹ Jeśli jest do niej doprowadzona instalacja elektryczna, to obudowa szafka jest częścią przewodzącą dostępną i z tego tytułu podlega połączeniom wyrównawczym miejscowym.

wannie, metalowa futryna drzwi lub okna. **Trwale nadanie im potencjału ziemi poprzez przyłączenie przewodu wyrównawczego zwiększa zagrożenie porażeniowe i jest błędem obciążającym projektanta.** Kwestie te są jednoznacznie postawione w przepisach i komentarzach do przepisów krajów Unii (rys. 8 i 9).



Rys. 9. Połączenia wyrównawcze miejscowe (linie przerywane) w łazience z rurociągami z tworzyw sztucznych – według przepisów brytyjskich [24]

Dotychczas obowiązujący niemiecki arkusz 701 dotyczący pomieszczeń kąpielowych pochodzi z roku 1984, ale treść ma inną niż pochodzący z tego samego roku oryginał normy IEC 364-7-701, dodatkowo zepsuty w Polsce przez nieudolne tłumaczenie. Od wielu lat podejmowano w Niemczech próby nowelizacji, wydawano kolejne projekty nowej wersji arkusza 701. Właśnie teraz, w lutym 2002 r., ukazuje się nowo ustanowiony niemiecki arkusz 701 [23], już nie projekt nowelizacji, lecz norma. Wprowadza ona wiele zmian, między innymi znosi wymaganie obejmowania połączeniami wyrównawczymi miejscowymi metalowej wanny, jeśli nie jest ona nieuchronnie uziemiona przez przyłączoną metalową rurę wodociagową i/lub rurę kanalizacyjną. Identyczny zapis znalazł się już siedem lat temu w projekcie nowelizacji polskich przepisów [14].

Kiedy się czyta powyższe postanowienia przepisów krajów Unii i zarazem czyta o nieustających próbach wprowadzenia w Polsce obowiązku obejmowania połączeniami wyrównawczymi metalowych zaworów i kranów na rurociągach plastikowych, nasuwa się pytanie, jakie są granice debilizmu zawodowego. Czy to już ostatni pomysł, czy następnym będzie wymaganie, aby przed wejściem do łazienki ślubną obrączkę na palcu przyłączać giętkim przewodem do szyny wyrównawczej.

Nie są obligatoryjne, ale są bardzo wskazane połączenia wyrównawcze przewodu ochronnego z częściami przewodzącymi obcymi przy kolejnych, a zwłaszcza przy ostatnich rozdzielnicach rozległych instalacji, np. w wysokich budynkach.

7. Układanie przewodów wyrównawczych

W roli przewodów wyrównawczych stosuje się miedziane przewody jednożyłowe gołe lub izolowane, miedziane żyły przewodów wielożyłowych lub stalowe przewody gołe albo pokryte trwałymi powłokami antykorozyjnymi. Przewody powinny być oznaczone zestawieniem barw żółtej i zielonej. W miejscach, w których przewody gołe byłyby narażone na przyspieszoną korozję, należy stosować przewody izolowane lub pokryte trwałymi powłokami antykorozyjnymi, np. stalowe cynkowane. Przewody powinny być układane na podłożu stałym, wzdłuż możliwie krótkiej trasy, w miejscach, w których nie będą narażone na uszkodzenia mechaniczne.

Jako połączenia wyrównawcze miejscowe mogą być wykorzystywane niektóre zamocowane na

stałe części przewodzące obce, zwłaszcza metalowe konstrukcje budowlane. Nie powinny być w tej roli wykorzystywane rurociągi wodne lub gazowe.



Rys. 10. Oznaczenie zacisku przewodu wyrównawczego

Przewody wyrównawcze powinny być łączone z częściami przewodzącymi dostępnymi i częściami przewodzącymi obcymi przez spawanie lub za pomocą zacisków śrubowych. Dopuszcza się łączenie z częścią przewodzącą obcą za pomocą obejmy zapewniającej połączenie elektryczne nie gorsze od połączenia śrubowego. Zaciski przewodów wyrównawczych powinny być oznaczone symbolem graficznym, jak na rys. 10. Połączenia powinny być dostępne do kontroli.

Literatura

1. Biegelmeier G.: *Wirksamkeit des Potentialausgleichs als Fehlerschutz*. Elektropraktiker, 2000, nr 4, s. 336-342.
2. Bödeker K.: *E-Check und Wiederholungsprüfung. Teil 5: Nachweis des Potentialausgleichs*. Elektropraktiker, 1998, nr 7, s. 648-651.
3. Bödeker K.: *Prüfung von Schutzleiter und Potentialausgleich*. Elektropraktiker, 1995, nr 4, s. 291-294.
4. Bryner P.: *Schutzmassnahme Potentialausgleich. Eine wirksame Vorkehrung für den Personenschutz*. Bull. SEV., 1998, nr 19, s. 38-44.
5. Flisowski Z., Kosztaluk R.: *Czy można jeszcze uratować przemysł elektrotechniczny i energoelektrykę polską?* Przegląd Elektrotechniczny, 2001, nr 12, s. 314-315.
6. Hasse P., Wiesinger J.: *Handbuch für Blitzschutz und Erdung*. Pflaum Verlag München, 1993.
7. Hasse P., Wiesinger J.: *Blitzschutz der Elektronik*. Pflaum Verlag München, 1999.
8. Hering E.: *Fundamentender. Gestaltung. Korrosionsschutz, praktische Ausführung*. Verlag Technik, Berlin, 1996.
9. Hörmann W.: *Potentialausgleich in Fernmeldekabinen*. de, 2001, nr 4, s. 36-40.
10. Krebs K.: *Dioden gegen Korrosion. Abgrenzeinheiten verhindern die Zerstörung von Wasserleitungen*. Bull. SEV., 1999, nr 9, s. 37-38.
11. Musiał E.: *Zapaść przepisowa w dziedzinie instalacji elektrycznych*. W: [Materiały] Ogólnopolski Kurs Techniczno-Szkoleniowy „Projektowanie i eksploatacja instalacji elektrycznych”. EKO-TECH, Instytut Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej, SEP Oddział w Poznaniu. Poznań, marzec 1996.
12. Musiał E.: *Miejscowe połączenia wyrównawcze w pomieszczeniach kąpielowych w budynkach z rurami wodociągowymi z tworzyw sztucznych*. Biul. SEP, INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2000, nr 33, s. 41-46.
13. Musiał E.: *Raz jeszcze o miejscowych połączeniach wyrównawczych w pomieszczeniach kąpielowych o rurach wodociągowych z tworzyw sztucznych*. Biul. SEP, INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2000, nr 37, s. 71-75.
14. Musiał E., Jabłoński W.: *Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne niskiego napięcia w zakresie ochrony przeciwporażeniowej – nowelizacja projektu przepisów*. Biuletyn SEP, INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 1999, nr 24, s. 3-56.
15. Nienhaus H.: *Messen der Durchgängigkeit der Verbindungen des Hauptpotentialausgleichs*. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2000, nr 20, s. 18-21.
16. Rudolph W., Winter O.: *EMV nach VDE 0100. Erdung, Potentialausgleich, TN-, TT- und IT System, Vermeiden von Induktionsschleifen, Schirmung, Lokale Netze*. VDE-Schriftenreihe Band 66. VDE-Verlag, Berlin-Offenbach, 1996.
17. Schulte K.: *Hauptpotentialausgleich in elektrischen Anlagen*. Elektropraktiker, 2000, nr 1, s. 50-52.
18. Vogt D.: *Potentialausgleich, Fundamentender, Korrosionsgefährdung*. VDE-Schriftenreihe Band 35. 5. Auflage. VDE-Verlag, Berlin-Offenbach, 2000.
19. *Nullungsverordnung*. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, ausgegeben am 16. September 1998, Teil II.
20. DIN 18012 : 1982-06 *Hausanschlußräume. Planungsgrundlagen*.
21. DIN 18014 : 1994-02 *Fundamentender*.
22. DIN VDE 0100-540 : 1991-11 *Errichten von Starkstromanlagen bis 1000 V; Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel; Erdung, Schutzleiter, Potentialausgleichleiter*.
23. DIN VDE 0100-701 (VDE 0100 Teil 701): 2002-02 *Errichten von Niederspannungsanlagen – Bestimmungen für Räume und Anlagen besonderer Art – Räume mit Badewanne oder Dusche*.
24. IEE On-Site Guide to BS 7671 : 1992. *Requirements for Electrical Installations* (Revised June 1998 to incorpo-

- rate Amendment No 2 to BS 7671). The Institution of Electrical Engineers. London, 1998.
25. PN-66/E-05009: *Urządzenia elektroenergetyczne. Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach o napięciu znamionowym do 1000 V.*
 26. *Zarządzenie ministra górnictwa i energetyki oraz ministra budownictwa i przemysłu materiałów budowlanych z dnia 31 grudnia 1968 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu do 1 kV.*
 27. *Rozporządzenie ministra gospodarki przestrzennej i budownictwa z dnia 14 grudnia 1994 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (wraz z późniejszymi zmianami).*
 28. Pr PN-IEC 60364-4-444: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed przepięciami. Ochrona przed zakłóceniami elektromagnetycznymi (EMI) w instalacjach obiektów budowlanych.*
 29. PN-IEC 60364-5-54: listopad 1999: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Uziemienia i przewody ochronne.*
 30. Pr PN-IEC 60364-5-548: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Układy uziemiające i połączenia wyrównawcze instalacji informatycznych.*
 31. PN-IEC 60364-7-701: wrzesień 1999: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Pomieszczenia wyposażone w wannę i/lub basen natryskowy”.*
 32. PN-IEC 60364-7-702: wrzesień 1999: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Baseny pływackie i inne.*
 33. PN-IEC 60364-7-704: wrzesień 1999: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Instalacje na terenie budowy i rozbiórki.*
 34. PN-IEC 60364-7-705: wrzesień 1999: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Instalacje elektryczne w gospodarstwach rolniczych i ogrodniczych.*
 35. PN-IEC 60364-7-706: grudzień 2000: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Przestrzenie ograniczone powierzchniami przewodzącymi.*
 36. PN-IEC 60364-7-707: listopad 1999: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Wymagania dotyczące uziemień instalacji urządzeń przetwarzania danych.*
 37. PN-IEC 60364-7-708: wrzesień 1999: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji. Kempingi i pojazdy wypoczynkowe .*
 38. PN-T-45000-1: styczeń 1998: *Uziemienia i wyrównywanie potencjałów w obiektach telekomunikacji, radiofonii i telewizji. Wymagania i badania. Terminologia.*
 39. PN-T-45000-2: styczeń 1998: *Uziemienia i wyrównywanie potencjałów w obiektach telekomunikacji, radiofonii i telewizji. Wymagania i badania. Systemy uziemiające w obiektach telekomunikacji przewodowej.*
 40. PN-T-45000-3: styczeń 1998: *Uziemienia i wyrównywanie potencjałów w obiektach telekomunikacji, radiofonii i telewizji. Wymagania i badania. Systemy uziemiające w obiektach radiofonii i telewizji.*
 41. Praca zbiorowa: *Komentarz do normy PN-IEC 60364 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Tom 1. COSIW SEP, Warszawa, 2001.*

Dane bibliograficzne:

Musiał E.: **Połączenia wyrównawcze jako ochrona przeciwporażeniowa uzupełniająca.** W: [Materiały] Międzynarodowe Targi Gdańskie 2002 „Elektroinstalacje”. Stowarzyszenie Elektryków Polskich, Oddział Gdańsk. 2002, s. 5-26.