

POŁĄCZENIA WYRÓWNAWCZE OCHRONNE¹

Połączenia wyrównawcze dla celów ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach elektrycznych budynków zostały w Polsce wprowadzone zaledwie 35 lat temu i to w wersji bardzo ograniczonej: tylko połączenia wyrównawcze główne i bez wsparcia uziomem fundamentowym. Od blisko dziesięciu lat Polskie Normy teoretycznie są identyczne z Normami Europejskimi i powinny umożliwiać wykonywanie połączeń wyrównawczych w sposób zgodny z uznanymi w świecie zasadami wiedzy technicznej, ale pojawiły się przeszkody mentalne. Polskojęzyczne teksty norm są zdeformowane błędnym tłumaczeniem, w przepisach prawa budowlanego pojawiają się zapisy niezgodne z postanowieniami norm, a pseudowiedza natrętnie sprzedawana szeregowym elektrykom nie sprzyja podnoszeniu ich kwalifikacji.

Połączenia wyrównawcze to sposób ochrony prosty aż do bólu – wystarczy galwanicznie połączyć ze sobą wszystko, co dostępne i przewodzące, a nie pojawi się różnica potencjałów zagrażająca porażeniem. Jednak ta prostota jest zwodnicza, o czym mogą świadczyć wieloletnie, ostre dyskusje o tym, co łączyć, a czego nie łączyć, i dlaczego albo o tym, że w tym użyciu termin ekwipotencjalizacja oznacza znaczne zmniejszenie różnicy potencjałów w warunkach zakłóceń, ale na ogół nie do zera.

Poza ogólnymi zasadami stosowania połączeń wyrównawczych głównych i miejscowych oraz uziomów fundamentowych bądź parafundamentowych, jest wiele szczegółowych i specyficznych zasad odnoszących się do określonych urządzeń i/lub miejsc o specjalnym przeznaczeniu i szczególnych warunkach środowiskowych. Trzeba upowszechnić tę wiedzę w trosce zarówno o bezpieczeństwo ludzi oraz zwierząt hodowlanych, jak i niezakłócone działanie ważnych urządzeń i układów elektrycznych.

1. Rys historyczny

Pierwsze w świecie wymaganie stosowania połączeń wyrównawczych w przepisach elektrotechnicznych pojawiło się w Niemczech w roku 1920 i dotyczyło pomieszczeń wilgotnych i mokrych, a w szczególności łazienek. Zwracano uwagę na konieczność łączenia ze sobą metalowych konstrukcji budowlanych oraz rurociągów rozprzeczonych w budynku. Do połowy XX wieku podobne wymagania pojawiały się tylko w niektórych krajach i dotyczyły zwłaszcza łazienek w mieszkaniach.

W Polsce wymaganie wykonywania połączeń wyrównawczych dla celów ochrony przeciwporażeniowej, w najniższej kondygnacji każdego zelektryfikowanego budynku i ponadto w łazience każdego mieszkania, pojawiło się po raz pierwszy w roku 1966, w normie PN-66/E-05009 [9]. Tu przypomnieć wypada, że w tamtym czasie stosowanie norm było obowiązkowe, o czym jeszcze w latach 50. ubiegłego wieku przypominał na pierwszej stronie normy nadruk o treści „Nieprzestrzeganie normy jest karalne”. Wspomniane wymaganie pojawiło się z inicjatywy głównych autorów normy, profesorów J. Piaseckiego i K. Wołkowińskiego. Norma została ustanowiona 29 grudnia 1966 r. z rocznym *vacatio legis*, przedłużonym następnie o kolejny rok, po

¹Niniejszy referat znalazł się w programie konferencji „AUTOMATYKA, ELEKTRYKA, ZAKŁÓCENIA”, w dniach 15–17 czerwca 2011 r. w Juracie. Tekst publikujemy w porozumieniu z firmą INFOTECH z Gdańska, organizatorem konferencji.

czym została unieważniona, zanim zaczęła obowiązywać. W zamian wprowadzono zbliżonej treści przepisy [7] usuwając jednak wszelkie połączenia wyrównawcze i inne – w oczach malutkich elektryków na wysokich stołkach – „fanaberie” profesorów. Dopiero nowelizacja tych przepisów w roku 1976 przywróciła wymaganie połączeń wyrównawczych głównych, w przyziemnej kondygnacji budynku, nie wspominając o połączeniach miejscowych.

Pełniejsze wymagania pojawiły się dopiero po roku 1990 w normach PN, będących tłumaczeniem norm międzynarodowych IEC, a następnie – dokumentów normalizacyjnych europejskich EN bądź HD. Norma 60364 jest normą wieloarkusową, na razie niekompletną, chociaż ma już ponad 40 arkuszy tematycznych, nowelizowanych co kilka lat. Jeśli do tego dodać liczne normy instalacyjne o innej numeracji, to elektryk, mający rozwikłać trudniejszy problem instalacyjny czy urządzeniowy, powinien mieć pod ręką spory zestaw norm, a nawet – wszystkich kolejnych ich edycji, czyli około 200 norm, skromnie licząc. Kolejną trudnością jest zawstydzająca jakość polskiego tłumaczenia tych norm, która przeinacza treść wielu postanowień, a inne formułuje polskimi słowami z zachowaniem angielskiej składni, co skutkuje tekstem niestrawnym, trudno zrozumiałym, również tekstem wieloznacznym, co w normie jest karygodne. Absolutnie wierzyć nie można, umieszczonej na stronach tytułowych norm notce „idt” lub „IDT”, która ma potwierdzać identyczność tekstu polskiego z oryginałem. Ten zarzut w całej rozciągłości dotyczy wszystkich dotychczasowych edycji arkusza 54 dotyczącego uziemień oraz wszelkich przewodów ochronnych i wyrównawczych. Wprawdzie projektanta nowych instalacji interesuje najnowsza wersja normy, ale kto projektuje przebudowę albo przeprowadza przeglądy istniejących instalacji, ten zmuszony jest korzystać z poprzednich jej edycji. Pełny ich wykaz, ze wszystkimi istotnymi danymi, przedstawia się następująco:

PN-E-05009-54:1992 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Uziemienia i przewody ochronne. Data publikacji: 1992-09-15. Wprowadza: IEC 364-5-54:1980/A1:1982 [IDT]. Data wycofania: 2001-12-03.

PN-IEC 60364-5-54:1999 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Uziemienia i przewody ochronne. Data zatwierdzenia: 1999-11-16. Data publikacji: 1999-11-16. Wprowadza: IEC 60364-5-54:1980 [IDT]. Zastępuje: PN-E-05009-54:1992. Ważna do: 2009-06-01. Data wycofania: 2009-06-01.

PN-IEC 60364-5-548:2001 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Układy uziemiające i połączenia wyrównawcze instalacji informatycznych. Data zatwierdzenia: 2001-12-27. Data publikacji: 2001-12-27. Wprowadza: IEC 60364-5-548:1999 [IDT]. Ważna do: 2009-06-01. Data wycofania: 2009-06-01.

PN-HD 60364-5-54:2007 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Uziemienia, przewody ochronne i przewody połączeń ochronnych (oryg.). Data zatwierdzenia: 2007-05-10. Data publikacji: 2007-05-10. Wprowadza: HD 60364-5-54:2007 [IDT]. Zastępuje: PN-IEC 60364-5-54:1999 oraz PN-IEC 60364-5-548:2001. Ostateczny termin wycofania norm krajowych sprzecznych z niniejszym HD (dow): 2009-06-01. Data wycofania: 2010-01-11.

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. Data zatwierdzenia: 2009-12-28. Data publikacji: 2010-01-11. Wprowadza: HD 60364-5-54:2007 [IDT]. Zastępuje: PN-HD 60364-5-54:2007 (oryg.). Ostateczny termin wycofania norm krajowych sprzecznych z niniejszym HD (dow): 2009-06-01.

Ważniejsze błędy dwóch pierwszych polskojęzycznych edycji normy były opisane wcześniej [5]. Ciekawe, że obie polskojęzyczne edycje o wyraźnie różniącej się treści są – według zapewnień PKN w postaci notki idt – identyczne z tym samym oryginałem IEC 364-5-54:1980/A1:1982, a tak naprawdę żadna nie jest poprawnym tłumaczeniem oryginału. Errata do aktualnej polskojęzycznej edycji normy [12] jest załączona do niniejszego artykułu.

Aktualna norma PN-HD 60364-5-54:2010 została opublikowana 11 stycznia 2010 r. Natomiast już w marcu 2011 r. ukazała się trzecia edycja normy źródłowej IEC (IEC 60364-5-54 ed. 3.0:2011-03), co zintensyfikuje proces nowelizacji dokumentu HD 60364-5-54:2007, a w następstwie – normy PN-HD 60364-5-54:2010. To zagęszczenie terminów jest wynikiem naszej nieporadności, bo tłumaczenie ostatniej wersji normy trwało trzy lata, a jego jakość widać w załączonej erracie.

2. Rola połączeń wyrównawczych w ochronie przeciwporażeniowej

Połączenia wyrównawcze są to małooporowe połączenia elektryczne różnych części przewodzących sprawiające, że mają one zbliżony potencjał, czyli są to połączenia wyrównujące potencjał. Mogą być one **celowo wykonane**, a mogą też być **naturalne**, zachodzące przez metalowe elementy konstrukcyjne, również połączenia przypadkowe, niezamierzone.

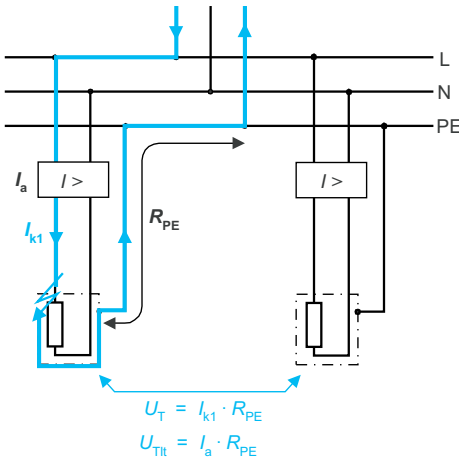
Jeżeli to możliwe, to połączenia wyrównawcze powinny być **bezpośrednie**, powinny łączyć galwanicznie określone części przewodzące przewodami wyrównawczymi i wtedy te łączone części stale mają zbliżony potencjał. Tylko tak wykonuje się połączenia wyrównawcze ochronne, dla celów ochrony przeciwporażeniowej, a także połączenia wyrównawcze funkcjonalne.

Połączenia wyrównawcze **pośrednie**, za pomocą ograniczników przepięć, służą dla celów ochrony odgromowej w przypadkach, kiedy w warunkach zakłóceńowych powinno dochodzić do połączenia części przewodzących, między którymi występuje napięcie w normalnych warunkach pracy. Na przykład odgromnik (ogranicznik przepięć 1. stopnia ochrony) włączony między przewód fazowy (L) i przewód ochronny PE lub przewód uziemiający służy wyrównaniu ich potencjału tylko krótkotrwale, w warunkach zakłóceńowych. Wyrównanie potencjału w tym przypadku jest znacznie gorsze niż przy połączeniu bezpośrednim, bo do spadków napięcia na przewodach łączących dodaje się napięcie między zaciskami odgromnika przy zapłonie, a potem – przy przepływie prądu wyładowczego.

Połączenia wyrównawcze mogą odgrywać określoną rolę w układach ochrony przeciwporażeniowej, ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej, ochrony przeciwzakłóceńowej, ochrony przeciwwybuchowej i przeciwpożarowej, ochrony przeciwkorozyjnej i ochrony przed elektryzacją statyczną. Jeden i ten sam przewód wyrównawczy może jednocześnie służyć różnym celom, może pełnić określoną rolę w dwóch i więcej sys-

temach ochrony pod warunkiem, że spełnia wymagania stawiane przez każdy z nich. Niestety, wymagania stawiane połączeniom wyrównawczym przez poszczególne systemy ochrony nie są identyczne.

Jako przestrożę warto przypomnieć, że termin *połączenia wyrównawcze* jest w elektrotechnice używany również poza techniką bezpieczeństwa, kiedy chodzi o wyrównanie potencjałów albo wyrównanie rozptyłu prądów. Na przykład w konstrukcji maszyn elektrycznych stosuje się połączenia wyrównawcze między określonymi punktami uzwojenia maszyny, zmierzające do wyrównania ich potencjałów, a równoległe pracujące prądnice szeregowo-bocznikowe, w celu równomiernego obciążania się, wymagają połączenia wyrównawczego szeregowych uzwojeń wzbudzenia.

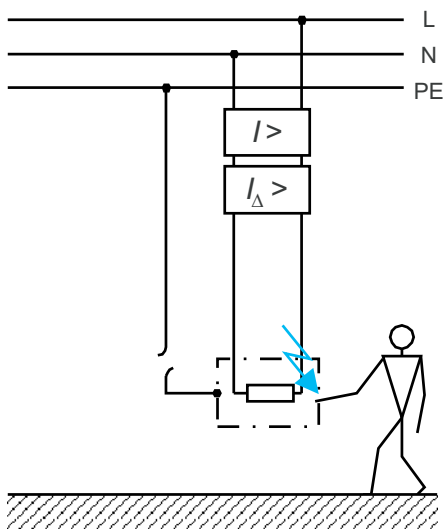


- I_{k1} – prąd zwarciový płynący w przewodzie ochronnym uszkodzonego odbiornika
- I_a – prąd wyłączający zabezpieczenia uszkodzonego obwodu
- R_{PE} – rezystancja przewodu ochronnego poza wspólnym torem zasilania obu obwodów
- U_T – największe napięcie dotykowe, między częściami przewodzącymi dostępnymi obu odbiorników, występujące krótkotrwale
- U_{Tll} – największe napięcie dotykowe, między częściami przewodzącymi dostępnymi obu odbiorników, występujące długotrwale

Rys. 1. Ekwipotentjalizujący efekt połączeń ochronnych PE w przypadku uszkodzenia izolacji podstawowej w jednym z odbiorników

Części przewodzące dostępne urządzeń elektrycznych klasy ochronności I w razie uszkodzenia izolacji podstawowej mogą się znaleźć pod napięciem względem ziemi. Aby zagrożenie z tego tytułu wystarczająco ograniczyć, są one połączone z uziemionym przewodem ochronnym PE, który zamyka obwód prądu zwarciový, a ten prąd z kolei pobudza odpowiednie zabezpieczenie nadprądowe lub różnicowoprądowe, co zapewnia wyłączenie obwodu w wymaganym czasie. Jednoczesne dotknięcie również części przewodzącej dostępnej innego urządzenia nie jest groźne, bo takie jednocześnie dostępne części różnych urządzeń są galwanicznie połączone przewodami ochronnymi PE i przyłączone do tego samego uziemienia. Jeżeli długość obwodów i tym samym rezystancja przewodów ochronnych (R_{PE} na rys. 1) nie jest zbyt duża, to w rozważanym **przypadku pojedynczego uszkodzenia** zachodzi wystarczające wyrównanie potencjałów części przewodzących dostępnych, które można jednocześnie dotknąć (rys. 1). Bezpieczeństwo rażeniowe wystarczająco gwarantuje wtedy powszechnie stosowana **ochrona dodatkowa** (ochrona przy uszkodzeniu) przez samoczynne wyłączanie zasilania. Jednakże można wskazać co najmniej dwie sytuacje, kiedy to nie wystarcza.

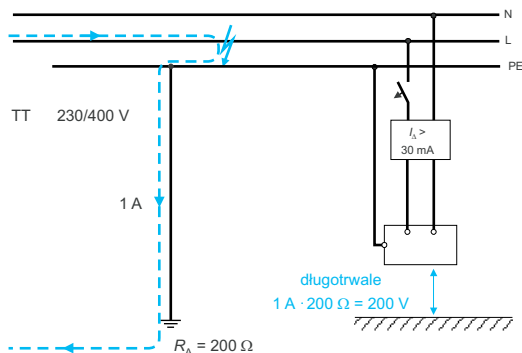
W sąsiedztwie urządzeń elektrycznych mogą znajdować się **części przewodzące obce**, czyli części przewodzące, nie wchodzące w skład instalacji elektrycznej, które mogą z zewnątrz wprowadzić potencjał elektryczny, zwykle potencjał ziemi lokalnej. Są to przechodzące przez różne kondygnacje, a co najmniej przez różne pomieszczenia na tej samej kondygnacji, przewodzące rurociągi, konstrukcje budowlane, również przewodzące podłogi i ściany. W miejscach zbliżeń można jednocześnie dotknąć dwie różne części przewodzące obce albo część przewodzącą obcą i część przewodzącą dostępną. Jeżeli gdziekolwiek w budynku w następstwie zwarcia na trasie przewodów – czyli w przypadku pojedynczego uszkodzenia – którakolwiek z części przewodzących obcych (np. jakiś rurociąg) znajdzie się pod napięciem względem ziemi, to w wielu miejscach budynku porażeniem zagraża jednoczesne dotknięcie tej części oraz innej części przewodzącej obcej albo dowolnej części przewodzącej dostępnej, uziemionej poprzez przyłączenie przewodu PE. Aby takie pojedyncze uszkodzenie nie wprowadzało zagrożenia, potrzebne są **główne połączenia wyrównawcze** dla całego budynku, czyli galwaniczne połączenie wszelkich części przewodzących obcych ze sobą i z przewodem ochronnym PE instalacji elektrycznej.



Rys. 2. *Przypadek podwójnego uszkodzenia: ochrony podstawowej (przebite izolacji podstawowej) oraz ochrony dodatkowej (przerwanie przewodu ochronnego)*

W warunkach szczególnego zagrożenia porażeniem, będących właściwością części 7 normy 60364, nie powinno dochodzić do groźnego porażenia nawet w **przypadku podwójnego uszkodzenia** o niepomijalnym prawdopodobieństwie wystąpienia. Chodzi zwłaszcza o uszkodzenie izolacji podstawowej w sytuacji, kiedy naruszona jest – być może od dłuższego czasu – ciągłość przewodów ochronnych PE (rys. 2). Ryzyko wypadku w takiej sytuacji mogą znacząco zredukować **miejscowe połączenia wyrównawcze**, wykonane poza połączeniami wyrównawczymi głównymi. Są one stosowane w części budynku, obejmują tylko określone urządzenia i stanowią redundancję w odniesieniu do połączeń ochronnych PE pod warunkiem, że **mają osobny zacisk wyrównawczy i oddzielny przewód wyrównawczy, ułożony osobno**.

Są też inne stany zakłóceniowe, kiedy połączenia wyrównawcze mogą zmniejszyć ryzyko groźnego porażenia. W instalacji o układzie TT jest tak w razie uszkodzenia izolacji podstawowej (zwarcie L-PE) w obwodzie niechronionym wyłącznikiem różnicowoprądowym (rys. 3). Z kolei w instalacji TN jest tak w razie przerwania przewodu PEN w poprzedzającej sieci, zwłaszcza w pobliżu złącza, kiedy zostaje odcięta instalacja pojedynczego obiektu. Niezależnie od układu sieci i instalacji jest tak w razie różnych uszkodzeń w poprzedzających sieciach wysokiego napięcia, których skutki mogą przenosić się do sieci niskiego napięcia.



Rys. 3. Przykład długotrwałe utrzymującego się zagrożenia porażeniowego w instalacji TT

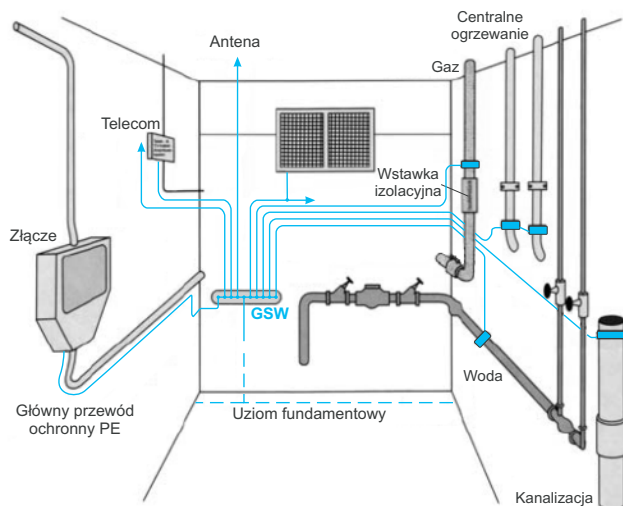
Połączenia wyrównawcze nie zastępują ochrony dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu) wykorzystującej przewód ochronny PE, one ją uzupełniają i pozwalają zmniejszyć nieuniknione i akceptowalne ryzyko szcztkowe wypadków porażenia prądem elektrycznym. Jeżeli jednak połączenia wyrównawcze są błędnie rozumiane, źle zaprojektowane i niewłaściwie wykonane, to – zamiast pomagać – mogą szkodzić. Ostrzegają o tym, już na początku krótkiego rozdziału o połączeniach wyrównawczych, kompetentni autorzy niemieckojęzycznej książki o bezpieczeństwie elektrycznym [1], jak gdyby znali polskie ekscesy przepisowe w tej dziedzinie.

Przez wiele lat stosowania połączeń wyrównawczych traktowano je jako dodatek ważny i niezbędny, ale wymykający się klasyfikacji systemów ochrony. W latach 1995-1996 podczas opracowywania projektu polskich przepisów [4] zostały zakwalifikowane jako **ochrona przeciwporażeniowa uzupełniająca** w stosunku do środków ochrony dodatkowej dla urządzeń elektrycznych klasy ochronności I. Mogą nie dopuścić do groźnego porażenia, kiedy ochrona podstawowa zawodzi, a ochrona dodatkowa nie zapobiega rażeniu. Po dziesięciu latach tak zakwalifikowano połączenia wyrównawcze miejscowe w dokumentacji IEC 60364-4-41:2005 oraz HD 60364-4-41:2007, a następnie w Polskich Normach.

3. Połączenia wyrównawcze główne

Połączenia wyrównawcze główne w każdym zelektryfikowanym budynku są obecnie w Polsce wymagane zarówno przez przepisy [8], jak i normy PN [10, 12], niezależnie od układu sieci i instalacji (TN, TT, IT) i niezależnie od zastosowanych systemów ochrony przeciwporażeniowej. Mają stworzyć we wnętrzu budynku strefę ekwipotencjalną, ale jest to w pełni możliwe pod warunkiem, że przewody ochronne PE przyłączone do części przewodzących dostępnych mają lokalne uziemienie w postaci uziomu fundamentowego.

Głównym celem ich stosowania jest zwiększenie niezawodności ochrony przeciwporażeniowej, są w pierwszym rzędzie połączeniami wyrównawczymi ochronnymi, chociaż mogą ubocznie służyć do innych celów (ochrona odgromowa i przeciwprzebieciowa, szeroko pojęta kompatybilność elektromagnetyczna itd.), co należy uwzględniać przy ich projektowaniu, montażu i eksploatacji, w tym – przy przeglądach technicznych.



Rys. 4. Główne połączenia wyrównawcze w pomieszczeniu przyłączowym budynku

Połączenia wyrównawcze główne należy wykonać w **przyziemnej kondygnacji budynku**, w pobliżu złącza lub rozdzielnic głównej budynku, w miejscu dostępnym do kontroli. Powinny one obejmować (rys. 4):

- przewód ochronny PE (PEN) linii zasilającej budynek i wszelkie inne wprowadzone do budynku przewody (żyły) ochronne i uziemiające,
- żyły zewnętrzne przewodów współosiowych¹, metalowe powłoki bądź ekrany wprowadzonych do budynku przewodów telekomunikacyjnych, w tym Internetu oraz telewizji i radiofonii przewodowej oraz przewody uziemiające lokalnych instalacji antenowych,
- uziom fundamentowy budynku i/lub inne sztuczne bądź naturalne uziomy przy budynku, jeśli występują,
- wszelkie rozproszalne w budynku metalowe przewody wodne, kanalizacyjne, gazowe, spalinowe, ogrzewnicze, klimatyzacyjne i inne, **niezależnie od tego, czy i jak są uziemione**,
- rozległe metalowe części konstrukcji budynku, o ile są dostępne: stalową konstrukcję szkieletową budynku, dźwigary stalowe, prowadnice dźwigów, zbrojenie betonu, metalowe elewacje budynku (ściany osłonowe) i metalowe pokrycia dachowe.

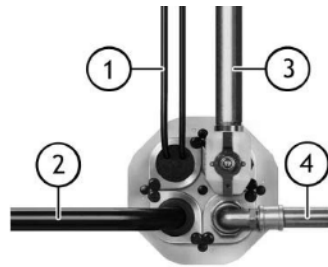
¹ W wielu publikacjach i przepisach występuje błędny termin *ekrany przewodów koncentrycznych*.

Właściciel ani zarządca sieci doprowadzonej do budynku nie ma prawa zakazywać przyłączenia do głównej szyny wyrównawczej przewodzących rurociągów ani innych przewodów, które w budynku są przedłużeniem należącej do niego sieci zewnętrznej. Natomiast ma prawo zakazywać wykorzystania należącej do niego podziemnej infrastruktury w roli uziomu naturalnego i ma ku temu podstawy w normach i przepisach. To pozorna sprzeczność, którą można rozwiązać instalując wstawkę izolacyjną między miejscem przyłączenia głównego przewodu wyrównawczego a miejscem wprowadzenia rurociągu do ziemi (przewód gazowy na rys. 4). Decydując się na takie rozwiązanie, trzeba rozważyć wszelkie możliwe konsekwencje i ewentualne środki zaradcze. Wstawkę można zbocznikować choćby iskiernikiem na wypadek przepływu prądu piorunowego. W razie wymiany wstawki albo wodomierza bądź innych robót wymagających przerwania ciągłości rurociągu, miejsce pracy można zbocznikować linką miedzianą o długości nieprzekraczającej 3 m, o przekroju co najmniej 16 mm² (10 mm² w Australii i Nowej Zelandii), obustronnie zakończoną zaciskami gwintowymi nakładanymi na rurę (ang. *temporary equipotential bonding for maintenance*). W pobliżu miejsca pracy na linii elektroenergetycznej uziemiacze przenośne też zakładają się tylko na czas pracy, a nie na stałe – z powodów aż nadto zrozumiałych – i nikt z tego powodu nie odczuwa dyskomfortu.

a)



b)



1 – kable telekomunikacyjne
2 – kabel elektroenergetyczny

3 – gaz
4 – woda

Rys. 5. Przykłady szczelnych przepustów zbiorczych ułatwiających wprowadzenie do budynku kilku przyłączy w jednym miejscu: a); b)

Połączenia wyrównawcze główne wykonuje się za pośrednictwem szyny wyrównawczej głównej, ale nie wymaga się, by każda z wymienionych części przewodzących była przyłączona do szyny osobnym przewodem wyrównawczym (zob. rury ogrzewnicze na rys. 4). Połączenia wyrównawcze powinny mieć jak najmniejszą impedancję, a zatem powinny być jak najkrótsze. Wobec tego wszelkie przyłącza zawierające części przewodzące, podlegające połączeniom wyrównawczym (metalowe rurociągi, osłony, powłoki, pancerze), powinny być wprowadzane do budynku w jednym miejscu, blisko siebie i jak najbliżej głównej szyny wyrównawczej. Tę zasadę nazywa się *single entry point* (SEP) bądź *common entry point* (CEP). W formie zalecenia można ją znaleźć chociażby w rozdziale 444.4.8 *Services entering a building* normy PN-HD 60364-4-444:2010 [11]. Są dostępne w handlu szczelne przepusty zbiorcze (rys. 5) umożliwiające wprowadzenie do budynku kilku przyłączy w jednym miejscu, najlepiej – w pomieszczeniu przyłączowym budynku.

Przestrzeganie tej zasady pozwala skrócić połączenia wyrównawcze, dzięki czemu są one bardziej skuteczne. Pozwala je zamknąć w pomieszczeniu przyłączowym bądź wnęce czy szafce przyłączowej, dzięki czemu są chronione od aktów wandalizmu. Pozwala też uniknąć pętli przewodzących o dużej powierzchni, w których piorunowy impuls elektromagnetyczny (LEMP) mógłby indukować napięcia zakłócające i/lub groźne przepięcia. Ignorowanie tej zasady prowadzi do rozwiązania absurdalnego, mianowicie namiastki szyny wyrównawczej w postaci – ułożonego w piwnicy po obwodzie budynku – stalowego płaskownika, do którego przyłącza się napotykanne po drodze rurociągi i inne wprowadzane do budynku części przewodzące. W niejednym polskim budynku można takie wybryki podziwiać.

Norma niemiecka DIN 18012 [17] formułuje wyczerpujące wymagania, jak w różnych budynkach ma wyglądać przestrzeń przyłączowa, w której wykonuje się główne połączenia wyrównawcze. W budynku mieszkalnym wielorodzinnym, obejmującym więcej niż cztery mieszkania, oraz w każdym innym większym budynku, o dowolnym przeznaczeniu, powinno być zamknięte **pomieszczenie przyłączowe** (niem. *Hausanschlussraum*), do którego wchodzi wszystkie przyłącza. W mniejszym budynku wielorodzinnym jego rolę może pełnić **ściana przyłączowa** (niem. *Hausanschlusswand*), a w budynku jednorodzinnym niepodpiwniczonym – **wnęka przyłączowa** (niem. *Hausanschlussnische*), przedstawiona na rys. 6, ciekawym również ze względu na umieszczenie gazomierza i głównego zaworu gazu w jednej wnęce z wyposażeniem elektrycznym.



Rys. 6. Wnęka przyłączowa według DIN 18012 [17]. W osobnych zamkniętych szrankach: złącze elektroenergetyczne (większa górna szranka) i złącze telekomunikacyjne (mniejsza dolna szranka).

W braku polskich uregulowań tych kwestii trzeba wykorzystywać drogę wskazaną w punkcie 511.1 normy PN-HD 60364-5-51:2011 i jej dwóch poprzednich edycji z roku 2009 i 2006. Jeśli określony zakres wiedzy technicznej nie jest objęty właściwością Norm Europejskich ani norm własnych danego kraju, to za podstawę należy

przyjąć normę międzynarodową IEC albo właściwą normę własną innego kraju. Kogo raz „opcja niemiecka” w elektrotechnice – zresztą bardzo silna w pierwszym dwudziestoleciu SEP (1919–1939) – ten może korzystać z norm białoruskich, byle by w razie nieszczęścia potrafił swoją opcję przed sądem przekonywająco uzasadnić.

Pomieszczenie przyłączowe powinno znajdować się na pierwszej kondygnacji podziemnej, a w budynku niepodpiwniczonym – na najniższej kondygnacji budynku. W obu przypadkach – przy ścianie zewnętrznej, w miejscu wprowadzenia przyłączy. Pomieszczenie przyłączowe powinno być wydzielone tylko do tego celu, powinno być oznakowane i zamykane, niedostępne dla osób niepowołanych. Nie powinno być pomieszczeniem przejściowym, lecz z dojściem bezpośrednio z ogólnodostępnych ciągów komunikacyjnych budynku lub z zewnątrz. Powinno mieć ściany o klasie odporności ogniowej co najmniej F30 (wg DIN 4102 T.1). Pomieszczenie powinno być suche, wentylowane, z przewodem wentylacyjnym wyprowadzonym na zewnątrz. Powinno być chronione przed zamarzaniem wody, ale temperatura w nim nie powinna przekraczać +30 °C, co może wymagać przeniesienia rurociągów ciepłowniczych z armaturą i układem pomiaru rozliczeniowego do osobnego, sąsiedniego pomieszczenia. Urządzenia elektryczne montuje się na innej ścianie (rys. 4) niż rurociągi z armaturą i urządzeniami pomiarowymi. Wymiary pomieszczenia przyłączowego powinny uwzględniać gabaryt instalowanych urządzeń, niezbędną przestrzeń montażową o głębokości co najmniej 1,2 m i swobodne przejścia o wysokości co najmniej 1,8 m pod rurociągami. Wymiary pomieszczenia nie powinny być mniejsze niż odpowiednio: wysokość 2,0 m, długość 2,0 m, a szerokość 1,5 m (wyposażenie montowane tylko na jednej ścianie) bądź 1,8 m (wyposażenie montowane na dwóch przeciwległych ścianach). Równie szczegółowe wymagania norma DIN 18012 [17] podaje dla ściany przyłączowej i wnęki przyłączowej.

Zacznem, z którego w Polsce można by wreszcie wyprowadzić wymaganie pomieszczenia przyłączowego *sensu stricto*, jest treść §116.1 przepisów [8]. Ustęp ten wymaga odrębnego pomieszczenia dla „zestawu wodomierza głównego” w podobnych przypadkach, jak te, które uzasadniają wykonanie pomieszczenia przyłączowego: „§116. 1. Zestaw wodomierza głównego, na połączeniu z siecią wodociągową, powinien być umieszczony w piwnicy budynku lub na parterze, w wydzielonym, łatwo dostępnym miejscu, zabezpieczonym przed zalaniem wodą, zamarzaniem oraz dostępem osób niepowołanych. W budynkach mieszkalnych wielorodzinnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej miejscem tym powinno być odrębne pomieszczenie”.

Wykonane w jednym miejscu połączenia wyrównawcze główne mogą nie wystarczać, jeżeli w jakimkolwiek miejscu budynku pojawiają się nowe, dodatkowe części przewodzące podlegające takim połączeniom. Wymaga to powtórzenia, odtworzenia połączeń wyrównawczych głównych. Drugim motywem skłaniającym do tego może być chęć obniżenia napięć dotykowych, osiągających znaczne wartości przy zwarciach doziemnych w miejscach instalacji odległych (decyduje długość przewodów ochronnych) od najbliższej szyny wyrównawczej.

Takie sytuacje występują **w budynkach mieszkalnych wieloklatkowych**, z osobnymi przyłączami w każdej lub w co którejś klatce schodowej. Przy każdym wprowadzeniu przyłączy metalowych należy ponowić połączenia wyrównawcze główne, przy czym sąsiadujące w budynku strefy ekwipotencjalne powinny być ze sobą gal-

wanicznie połączone. Jeśli nie zapewnia tego przewód ochronny wspólnej sieci zasilającej, to należy osobnym przewodem (wyrównawczym) połączyć ze sobą sąsiednie szyny wyrównawcze główne. Z tego samego powodu budynek powinien mieć jeden wspólny układ uziemiający wiążący ze sobą wszystkie uziomy i wszystkie możliwe funkcje uziemień. Wspomniane funkcje uziemień mogą co najwyżej wpływać na konfigurację połączeń uziemiających w budynku (układ promieniowy, pierścieniowy czy kratowy oraz sposób powiązania ze sobą szyn ochronnych, uziemiających i wyrównawczych), a także sposób powiązania z instalacją odgromową.

Zbliżone sytuacje występują **w budynkach wysokościowych** (o wysokości powyżej 55 m nad poziomem terenu), a w postaci złagodzonej – w budynkach wysokich (o wysokości 25÷55 m), przede wszystkim ze względu na oddalenie wyższych kondygnacji od głównej szyny wyrównawczej w piwnicy. Wprawdzie na wyższych kondygnacjach nie wprowadza się przyłączy spoza budynku, ale w budynkach wysokościowych wprowadza się tam nowe zasilanie ze stacji transformatorowo-rozdzielczych SN/nn i źródeł zasilania gwarantowanego, a zatem pojawiają się nowe przewody ochronne. Połączenia wyrównawcze główne należy odtworzyć na każdej kondygnacji technicznej (liczne części przewodzące obce), zwłaszcza przy każdej stacji transformatorowo-rozdzielczej (nowe przewody ochronne). W zależności od ekwipotencjalizującego efektu konstrukcji budynku, takie połączenia powinny być odtwarzane w odstępach pionowych nieprzekraczających od 15 do 30 m. Najdalej idzie przewodnik towarzyszący normie francuskiej NF C 15-100 [19], który zaleca przy głównej rozdzielnicy każdej kondygnacji łączyć szynę PE z pobliskimi (oddalonymi mniej niż 2 m) częściami przewodzącymi obcymi.

a)



b)



c)



Rys. 7. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne szyn wyrównawczych

Główna szyna wyrównawcza (GSW) powinna spełniać wymagania normy DIN VDE 0618-1 [18], skoro nie ma u nas żadnych krajowych ustaleń. Dobiera się ją stosownie do liczby oraz profilu i pola przekroju poprzecznego przyłączanych przewodów (rys. 7) i na przykład powinna ona umożliwiać przyłączenie:

- 1 płaskownika 30×4 mm lub pręta $\varnothing 10$ mm (od uziomu fundamentowego),
- 1 przewodu o przekroju 50 mm² (od złącza elektroenergetycznego),
- 6 przewodów o przekroju od 6 do 25 mm²,
- 6 przewodów o przekroju od 2,5 mm² do co najmniej 6 mm².

Pole przekroju poprzecznego szyny w miejscu najbardziej osłabionym powinno wynosić co najmniej 25 mm^2 w przypadku miedzi (przekrój równoważny, odwrotnie proporcjonalny do konduktywności, w przypadku szyny z innego materiału). Zaciski powinny umożliwiać przyłączenie przewodu bez specjalnego przygotowania jego zakończenia. Rozłączenie zacisku nie powinno być możliwe bez użycia narzędzia. Zaciski do przewodów o przekroju 10 mm^2 i większym powinny wytrzymywać przepływ prądu piorunowego (100 kA , $10/350 \mu\text{s}$). Szyna powinna umożliwiać opisanie przeznaczenia poszczególnych zacisków, np. za pomocą nasuwanych lub naklejanych etykiet.

Najmniejszy dopuszczalny **przekrój głównych przewodów wyrównawczych** ochronnych według aktualnej normy [12] wynosi:

- 6 mm^2 w przypadku przewodu miedzianego,
- 16 mm^2 w przypadku przewodu aluminiowego,
- 50 mm^2 w przypadku przewodu stalowego.

Jest on określony ze względu na wytrzymałość mechaniczną i nie zależy od przekroju przewodów (żył) skrajnych L linii zasilającej główną rozdzielnicę budynku, który decyduje o wymaganym przekroju przewodu (żyły) ochronnego tej linii.

Poprzednie edycje normy formułowały wymaganie następujące: **Przewody połączeń wyrównawczych głównych powinny mieć przekrój nie mniejszy niż połowa wymaganego¹ przekroju przewodu ochronnego o największym przekroju w danej instalacji** ($S_{CC} \geq 0,5 \cdot S_{PE}$), lecz nie mniejszy niż 6 mm^2 (z miedzi). **Przekrój nie musi być jednak większy niż 25 mm^2 (z miedzi)**... Jeżeli budynek miał więcej niż jedną linię zasilającą, to podane wymaganie dotyczyło każdej z nich i wobec tego decydujące znaczenie miała linia o największym przekroju przewodów skrajnych. Ni stąd, ni zowąd okazało się, że tam gdzie przez 30 lat był wymagany (już przez IEC 364-5-54:1980) przewód ochronny miedziany 10 mm^2 , 16 mm^2 , a nawet 25 mm^2 , teraz wystarczy 6 mm^2 . Co zmieniło się w elektryce albo w spojrzeniu na nią, co uzasadniałoby tak radykalną zmianę, już radośnie anonsowaną na niektórych „szkoleniach”? Ano nic się nie zmieniło, tylko normalizatorom przydarzyła się kompromitująca wpadka, najpierw na etapie przyjmowania dokumentu międzynarodowego IEC 60364-5-54:2002, następnie – dokumentu europejskiego HD 60364-5-54:2007, po czym – dokumentów krajowych, np. PN-HD 60364-5-54:2010. Komisyjne opracowywanie tych dokumentów oraz kłopotliwe ich uzgadnianie, również najdrobniejszej zmiany, w tym korekty ewidentnego błędu, przez głosowanie z udziałem ogółu komitetów krajowych, sprawiają, że procedura korygowania potrwa. Dopiero w marcu 2011 r. ukazał się skorygowany dokument IEC 60364-5-54:2011, zresztą wprowadzający również inne zmiany. To inicjuje kolejne działania – przygotowanie nowelizacji HD 60364-5-54 oraz norm krajowych.

Nawet tak zwykle skrupulatni normalizatorzy niemieccy ocknęli się z opóźnieniem. Przeanalizowali możliwe stany zakłóceniewe [3] wykazując, że wymagania najnowszego dokumentu HD 60364-5-54:2007 [12] w tej kwestii są niebezpiecznie zaniżone. Na okres przejściowy, do czasu wyjaśnienia sprawy na forum IEC i CENELEC, podali własne zalecenia odnośnie do przekroju głównych przewodów wyrównawczych (tabl. 1), łagodniejsze niż w poprzednich normach. Nie wspomnieli, że nowa

¹)W tekście polskim błędnie tłumaczono: *niż połowa największego przekroju (przewodu) ochronnego zastosowanego w danej instalacji...* (norma z roku 1992) albo: *niż połowa największego przekroju przewodu ochronnego w danej instalacji...* (norma z roku 1999).

norma wprowadziła sytuację paradoksalną, bo w instalacjach dużej mocy (przemysłowych) połączenia wyrównawcze miejscowe nakazuje wykonywać przewodami o przekroju znacznie większym niż połączenia wyrównawcze główne.

Tablica 1. Tymczasowe zalecenia grupy roboczej VDE w sprawie wymaganego przekroju przewodów połączeń wyrównawczych głównych [3]

Przekrój miedzianego przewodu skrajnego linii zasilającej [mm ²]	Najmniejszy dopuszczalny przekrój miedzianego przewodu połączeń wyrównawczych głównych [mm ²]
$S_L \leq 35$	$S_{CC} \geq 10$ ¹⁾
$35 < S_L \leq 70$	$S_{CC} \geq 16$
$70 < S_L \leq 120$	$S_{CC} \geq 25$
$120 < S_L \leq 185$	$S_{CC} \geq 35$
$S_L > 185$	$S_{CC} \geq 50$

¹⁾Jednakże 16 mm², jeżeli przewód wyrównawczy jest narażony na przepływ prądu piorunowego.

Polskim projektantom i wykonawcom instalacji wypada stanowczo odradzać stosowanie się do „ulgowego” postanowienia 544.1.1 aktualnej normy PN-HD 60364-5-54:2010 [12]. W zamian należy literalnie stosować się do wymagania 547.1.1 wcześniejszej normy PN-IEC 60364-5-54:1999, które zostało przywrócone w najnowszej normie IEC 60364-5-54:2011 i – jak wskazują wszystkie znaki na niebie i ziemi – zostanie przywrócone przy najbliższej nowelizacji dokumentu HD 60364-5-54.

4. Połączenia wyrównawcze miejscowe

Połączenia wyrównawcze miejscowe (dodatkowe) są to połączenia wyrównawcze wykonane w innych miejscach niż połączenia wyrównawcze główne, które tworzą strefę ekwipotencjalną w zasadzie w całym budynku. W miejscach, gdzie nie wystarcza ograniczona skuteczność i niezawodność ekwipotencjalizacji, jaką zapewniają połączenia wyrównawcze główne, wprowadza się połączenia wyrównawcze miejscowe. Zasięg ich strefy ekwipotencjalizacji jest ograniczony do wnętrza urządzenia elektrycznego (rozdzielniczy, sterownicy, przekształtnika), pojedynczego pomieszczenia (łazienki, sauny, kuchni zbiorowego żywienia, serwerowni, krytego basenu pływackiego), zespołu funkcjonalnie powiązanych pomieszczeń (bloku operacyjnego, oddziału intensywnej opieki medycznej, stacji dializ, ośrodka obliczeniowego, basenu pływackiego ze stacją przygotowania wody, zespołu pomieszczeń hodowli zwierząt) bądź obiektu na terenie odkrytym (basenu pływackiego, fontanny, kempingu, mariny).

W odróżnieniu od połączeń wyrównawczych głównych, połączenia wyrównawcze miejscowe wolno wykonać **bez pośrednictwa szyny wyrównawczej**, jeżeli wymagania dodatkowe dla obiektów specjalnych takiej szyny nie wymagają. Tego odstępowania lepiej nie nadużywać, jeżeli trzeba połączyć więcej niż trzy lub cztery oddalone od siebie części przewodzące.

Podobnie jak połączenia główne, połączenia wyrównawcze miejscowe są wykonywane w pierwszym rzędzie dla celów ochrony przeciwporażeniowej i są to prawie zawsze **miejscowe połączenia wyrównawcze ochronne uziemione**. Podobnie jak główne, również połączenia miejscowe mogą ubocznie służyć innym celom, co należy uwzględniać przy ich projektowaniu i użytkowaniu. Ilekroć są potrzebne połączenia wyrównawcze bądź połączenia uziemiające z różnych powodów, tylekroć należy zrobić wszystko, aby takie połączenia służące różnym celom były wspólne, a co najmniej galwanicznie połączone ze sobą, i miały wspólny układ uziemiający. Chęć wyizolowania określonych urządzeń lub funkcji ochronnych na ogół prowadzi na manowce, szkodzi zamiast pomagać.

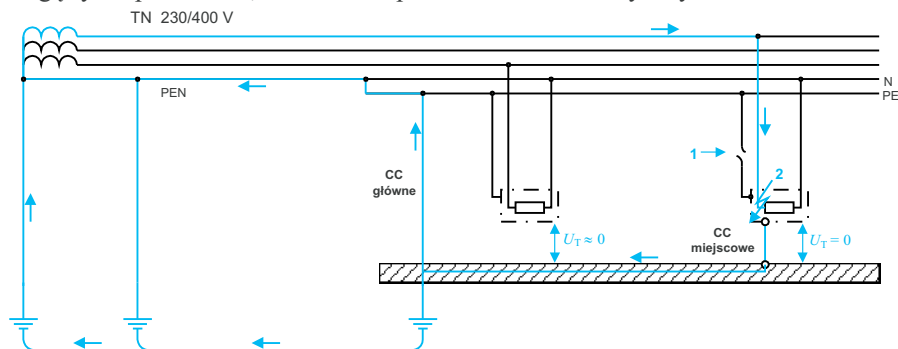
Połączenia wyrównawcze miejscowe powinny obejmować, występujące w zasięgu ich strefy ekwipotencjalizacji, części przewodzące dostępne (przez połączenie z szyną ochronną PE właściwej rozdzielnicy), wszelkie przewody uziemiające oraz części przewodzące obce. Interpretacja tego ostatniego pojęcia, objaśnionego w rozdziale 2, właśnie przy rozważaniu połączeń wyrównawczych miejscowych budzi najwięcej wątpliwości i rozbieżnych opinii. Są częściami przewodzącymi obcymi i podlegają miejscowym połączeniom wyrównawczym ochronnym, jeśli są one wykonywane, takie części wchodzące z zewnątrz do pomieszczenia, jak: metalowe przewody (wodne, gazowe, próżniowe), wentylacyjne itd.), ościeżnice przeszkleń pasmowych budynku (ang. *strip windows*) o galwanicznej ciągłości między różnymi pomieszczeniami oraz metalowe zewnętrzne warstwy przewodów (jak uzbrojenie, ekran). Natomiast nie są częściami przewodzącymi obcymi – bo nie mogą z zewnątrz wprowadzić obcego potencjału – i z zasady nie podlegają miejscowym połączeniom wyrównawczym ochronnym takie metalowe elementy wyposażenia, w całości znajdujące się w rozpatrywanym pomieszczeniu, jak: regał, szafa, czy inny mebel stacjonarny, ościeżnica drzwiowa lub okienna osadzona w ścianie niezbrojonej, podobnie osadzona rama ściany kartonowo-gipsowej, armatura na rurach izolacyjnych. Przyłączanie do nich przewodu wyrównawczego i nadawanie im potencjału ziemi, zwiększa prawdopodobieństwo styczności człowieka z tym potencjałem (czynnik BC), czyli zwiększa zagrożenie porażeniem.

W obiektach istniejących **sporne przypadki** można rozsądzić przez pomiar rezystancji połączenia R_p (rozd. 6) między kwestionowaną częścią metalową a szyną wyrównawczą lub pobliską częścią przewodzącą obcą, połączoną z taką szyną. W odniesieniu do ościeżnic drzwiowych i okiennych, które i u nas bywają kością niezgody, przewodnik towarzyszący normie francuskiej NF C 15-100 [19] podsuwa prostą i logiczną odpowiedź, którą można posłużyć się w podobnych sytuacjach (umocowane do przegród budowlanych metalowe poręcze, uchwyty, wieszaki, półki):

- jeżeli $R_p \geq 50 \text{ k}\Omega$, to rozpatrywana część nie jest częścią przewodzącą obcą i nie podlega połączeniom wyrównawczym,
- jeżeli $R_p \leq 2 \Omega$, to rozpatrywana część jest częścią przewodzącą obcą, ma wystarczająco dobre naturalne połączenie z szyną wyrównawczą i nie wymaga przyłączenia przewodu wyrównawczego,
- w pozostałych przypadkach ($2 \Omega < R_p < 50 \text{ k}\Omega$) rozpatrywana część jest częścią przewodzącą obcą, do której należy przyłączyć przewód wyrównawczy ochronny.

Pierwszy warunek ($R_p \geq 50 \text{ k}\Omega$) w zbliżonym kontekście występuje również w normach PN i dotyczy instalacji o napięciu nominalnym nieprzekraczającym 500 V, natomiast nie jest u nas znany drugi warunek ($R_p \leq 2 \Omega$).

Wspomniane postępowanie jest zalecane w wielu wrażliwych sytuacjach, w rozmaitych warunkach środowiskowych, ale graniczne wartości liczbowe R_p (tutaj 2Ω i $50 \text{ k}\Omega$) mogą być zupełnie inne, zwłaszcza w pomieszczeniach medycznych.



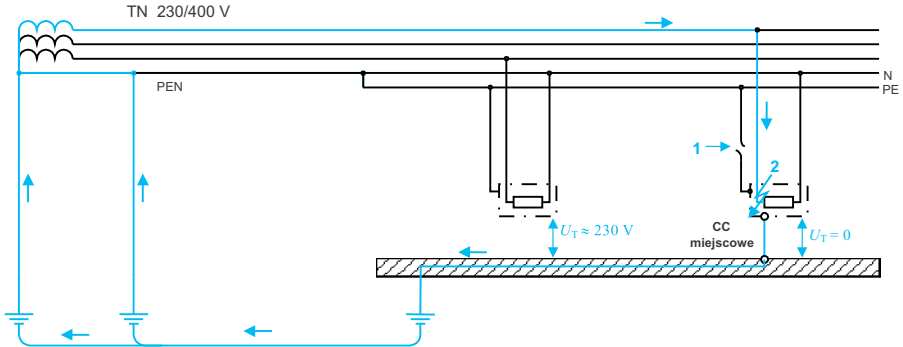
Rys. 8. Sytuacja, w której połączenia wyrównawcze zapobiegają porażeniu mimo wystąpienia podwójnego uszkodzenia

W niektórych sytuacjach stosowanie miejscowych połączeń wyrównawczych ochronnych jest **obligatoryjne**. Dotyczy to instalacji elektrycznych w **warunkach szczególnego zagrożenia porażeniem**, wywołanego niekorzystnymi warunkami środowiskowymi, będących właściwością części 7 normy 60364, jak pomieszczenia kąpielowe i sauny, baseny pływackie, pomieszczenia hodowli zwierząt, pomieszczenia przewodzące i ograniczające swobodę ruchu. Stosowanie miejscowych połączeń wyrównawczych jest obligatoryjne również w **instalacjach o szczególnych wymaganiach odnośnie do kompatybilności elektromagnetycznej**, jak ośrodki komputerowe, stacje nadawcze radiowe i telewizyjne, ośrodki zarządzania systemami bezpieczeństwa. W obu przypadkach z tytułu zastosowania połączeń wyrównawczych nie dopuszcza się złagodzenia wymagań stawianych ochronie przeciwporażeniowej dodatkowej (ochronie przy uszkodzeniu), np. nie dopuszcza się zwiększenia największego dopuszczalnego czasu samoczynnego wyłączenia zasilania.

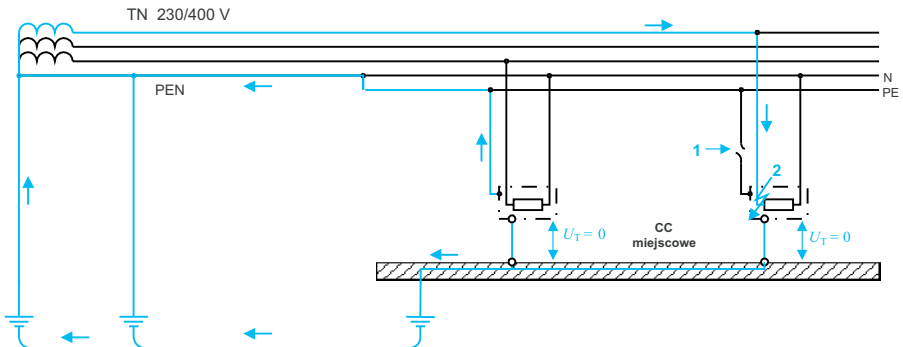
W sytuacji, przedstawionej na rys. 8, połączenia wyrównawcze główne i miejscowe nie dopuszczają do groźnego porażenia przy obu występujących tam urządzeniach, mimo wystąpienia aż dwóch uszkodzeń (ang. *double fault condition*). Gdyby zabrakło głównych połączeń wyrównawczych (rys. 9), wtedy nic nie zmieniłoby się przy urządzeniu z miejscowymi połączeniami wyrównawczymi, ale zagrożenie wystąpiłoby przy drugim urządzeniu pozbawionym takich połączeń.

Mimo braku głównych połączeń wyrównawczych nie wystąpiłyby niebezpieczne napięcia dotykowe przy żadnym z urządzeń, gdyby oba były objęte połączeniami wyrównawczymi miejscowymi (rys. 10). Jednak w różnych stanach zakłóceń (zwarcie L-PE, przerwanie przewodu PEN przyłącza) narażenia cieplne przewodów połączeń wyrównawczych miejscowych mogłyby być nadmierne. W sytuacji z rys. 10 przewody wyrównawcze przewodzą prądy, na przewodzenie których są zwymerowane przewody ochronne PE, a mają przekrój dwukrotnie mniejszy niż przewody PE. Z tych powodów w roku 1996 w projekcie polskich przepisów [4] pojawiło się w punkcie 7.3.7 postanowienie: „**Przed wykonaniem (uziemionych) połączeń wyrównaw-**

czych miejscowych należy upewnić się, że budynek ma poprawnie wykonane połączenia wyrównawcze główne”. Warto przestrzegać tego przykazania, bo jest ono ważne, a nie pojawiło się w żadnym dokumencie normalizacyjnym międzynarodowym IEC, europejskim EN czy HD ani polskim PN. Co gorsza, pojawiają się fałszywe porady o treści przeciwstawnej.

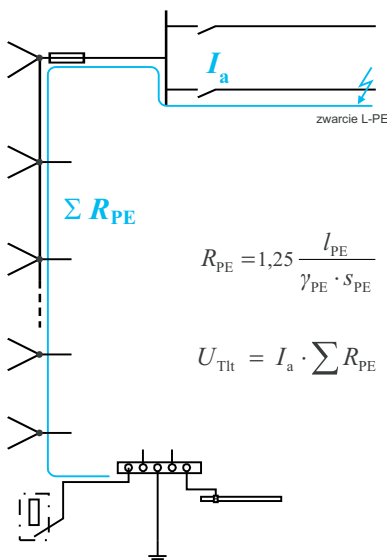


Rys. 9. Konsekwencje braku połączeń wyrównawczych głównych w sytuacji z rys. 8.



Rys. 10. Groźba przekroczenia obciążalności cieplnej przewodów połączeń wyrównawczych miejscowych przy braku połączeń wyrównawczych głównych

Poza wspomnianymi przypadkami obligatoryjnego stosowania połączeń wyrównawczych miejscowych, są sytuacje, w których mogą być one pożądane, ale stosowanie ich jest **fakultatywne**, pozostaje w gestii projektanta, inwestora bądź zarządcy obiektu. Stosuje się je niekiedy, aby małym kosztem poprawić skuteczność i niezawodność ochrony, nie oczekując z tego tytułu żadnego złagodzenia wymagań przepisowych. Bywają też ostatnią deską ratunku, pozwalającą obniżyć spodziewane napięcie dotykowe przy zwarcia L-PE do poziomu nieprzekraczającego wartości dopuszczalnej długotrwale, co uchyla wymaganie samoczynnego wyłączenia zasilania w czasie wymaganym przez normę [10]. Projektant korzysta z alternatywy: **albo samoczynne wyłączenie zasilania w wymaganym czasie, albo obniżenie napięć dotykowych do wartości dopuszczalnej długotrwale**. Sposób postępowania w podobnej sytuacji przedstawiono na rys. 11.



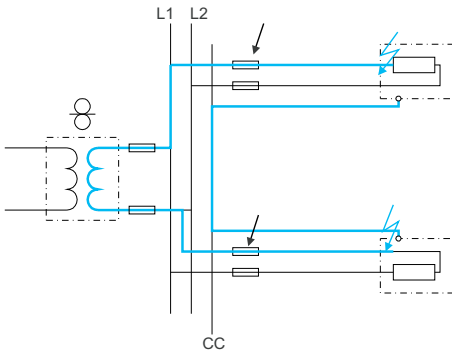
Rys. 11. Sposób obliczania największego występującego długotrwale napięcia dotykowego w wielopiętrowym budynku

W oddalonych od złącza obwodach na wyższych kondygnacjach budynku warunek samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie może nie być spełniony. Prąd zwarcia L-PE u końca obwodu może być mniejszy niż prąd wyłączający I_a właściwego zabezpieczenia, przy czym może się to zdarzyć tylko w obwodzie bez wyłącznika różnicowoprądowego. Wolno wtedy skuteczność ochrony dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu) wykazać w inny sposób, a mianowicie, że napięcie dotykowe utrzymujące się długotrwale, tzn. dłużej niż wymagany czas wyłączenia [10], nie przekracza wartości dopuszczalnej długotrwale, np. AC 50 V. Na początek można sprawdzić, jak na rys. 11, czy wystarczają do tego obligatoryjne główne połączenia wyrównawcze. Poszukiwana wtedy wartość największego występującego długotrwale napięcia dotykowego U_{Th} jest iloczynem prądu wyłączającego I_a właściwego zabezpieczenia i sumarycznej rezystancji przewodów ochronnych $\sum R_{PE}$ od miejsca zwarcia L-PE do głównej szyny wyrównawczej. Jeżeli uzyskany wynik obliczeń jest większy od wartości dopuszczalnej, to należy wykonać miejscowe połączenia wyrównawcze na pośredniej kondygnacji (pośrednich kondygnacjach). Wtedy sumaryczną rezystancję przewodów ochronnych $\sum R_{PE}$ liczy się od miejsca zwarcia L-PE do najbliższej miejscowej szyny wyrównawczej. Tą drogą wartość napięcia dotykowego utrzymującego się długotrwale U_{Th} można dość dowolnie zmniejszać.

To rozwiązanie pozwala zrezygnować z samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie dla celów ochrony od porażień, ale przed jego akceptacją trzeba się upewnić, że jest to do przyjęcia również ze względu na narażenia zwarciove ciepłne wyposażenia tego obwodu i jego otoczenia, tzn. należy sprawdzić, czy obwód spełnia warunki sformułowane w normie PN-HD 60364-4-43.

Miejscowe połączenia wyrównawcze ochronne nieuziemiene stosuje się w dwóch rzadko spotykanych rozwiązaniach ochrony przeciwporażeniowej, które zresztą w eksploatacji powinny pozostawać pod stałym nadzorem osób wykwalifikowanych.

Pierwsze rozwiązanie ma w normie nielogiczną nazwę **ochrona za pomocą nieziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych**, a jest stosowane, kiedy na stanowisku izolowanym, tzn. w pomieszczeniu o izolacyjnych podłogach i ścianach, jest zainstalowane i użytkowane więcej niż jedno urządzenie klasy ochronności I. Połączeniami wyrównawczymi nieziemionymi obejmuje się wszystkie części przewodzące dostępne urządzeń, a także części przewodzące obce, przy czym nie mogą one być uziemione, nawet w sposób naturalny. W istocie ochrona polega na tym, że człowiek znajduje się na stanowisku izolowanym, a wszelkie części przewodzące jednocześnie dostępne mają – dzięki nieziemionym połączeniom wyrównawczym – ten sam potencjał. W zasięgu ręki człowieka na stanowisku izolowanym – w normalnych warunkach pracy i w razie dowolnych branych pod uwagę uszkodzeń – nie ma części przewodzących o innym potencjale, zwłaszcza o potencjale ziemi.



Rys. 12. Separacja ochronna dwóch lub więcej urządzeń – wymagane nieziemione połączenia wyrównawcze miejscowe
 Przy zwarciu dwumiejscowym, jak na rysunku, powinno zadziałać co najmniej jedno ze wskazanych zabezpieczeń nadprądowych.

Drugie rozwiązanie dotyczy **separacji obwodu zasilającego więcej niż jeden odbiornik** przy użyciu transformatora separacyjnego lub przetwornicy separacyjnej. Pierwsze zwarcie doziemne nie ujawnia się i nie wprowadza zagrożenia, a kiedy wystąpi drugie w innym biegunie, wtedy łatwo o porażenie. Nieziemione połączenia wyrównawcze miejscowe między częściami przewodzącymi dostępnymi wszelkich urządzeń w obwodzie separowanym (rys. 12) pełnią wtedy następującą rolę:

- nie dopuszczają do wyczuwalnej różnicy potencjałów między częściami jednocześnie dostępnymi,
- tworzą metaliczną pętlę prądu zwarcia dwumiejscowego, dzięki czemu drugie uszkodzenie izolacji podstawowej wywołuje zwarcie wielkopiętrowe, wyłączane przez zabezpieczenia nadprądowe.

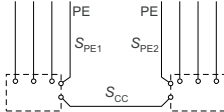
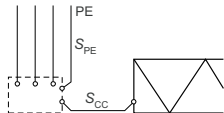
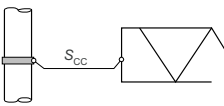
Wymagany **przekrój przewodów miejscowych połączeń wyrównawczych** tylko w pierwszych arkuszach normy (IEC 364-5-54:1980/A1:1982, PN-E-05009-54:1992, PN-IEC 60364-5-54:1999) był określony poprawnie w tekście (bez rysunków). Wymagania nie zmieniły się w kolejnej wersji normy (IEC 60364-5-54:2002, HD 60364-5-54:2007, PN-HD 60364-5-54:2007 (oryg.), PN-HD 60364-5-54:2010), co jednoznacznie wynika z dodanych rysunków objaśniających, ale w tekście zostały sformułowane w sposób świadczący, że autorzy normy mają kłopot z interpretacją terminu *conductance*, którym się posługują: *A protective bonding conductor... shall have a conductance not less than half of that of the corresponding protective conductor*. Z kolei polscy tłumacze nie wiedzą, że jego polskim odpowiednikiem od dziesięcioleci jest *konduktancja*,

a nie *przewodność*. Można się domyślać dobrych intencji autorów normy, którzy chcieli podać regułę słuszną niezależnie od materiału żył porównywanych przewodów wyrównawczych i ochronnych. I tak naprawdę chodziło im chyba o konduktancję odniesioną do jednostki długości przewodu. W przeciwnym razie sformułowanie w normie prowadzi na manowce, jeżeli długość przewodu ochronnego i przewodu wyrównawczego nie jest jednakowa, a nie musi być.

Niezmiennie od lat zasady doboru przekroju przewodów połączeń wyrównawczych miejscowych są przedstawione w tabl. 2 z drobnymi korektami w stosunku do normy. Po pierwsze, na rysunkach w normie przewód ochronny i przewód wyrównawczy są przyłączone do tego samego zacisku. Jeżeli przewody wyrównawcze mają rezerwować przewody ochronne, to powinny mieć osobne zaciski i nie powinny być układane razem. Po drugie, dodano trzecią pozycję, dla przewodów łączących dwie części przewodzące obce, bo taki przypadek również występuje w obrębie miejscowych połączeń wyrównawczych.

Wymagany przekrój przewodu wyrównawczego jest w każdym przypadku uzależniony od **wymaganego**, a nie od zastosowanego przekroju odpowiedniego przewodu ochronnego PE. Na przykład, jeżeli przewód zasilający urządzenie ma żyły skrajne L o przekroju $S_L = 70 \text{ mm}^2$, to najmniejszy dopuszczalny przekrój żyły ochronnej PE wynosi $S_{PE} = 35 \text{ mm}^2$ i ta wartość stanowi podstawę doboru przekroju przewodu wyrównawczego według normy i według tabl. 2. Jest tak również wówczas, gdy z takich czy innych powodów ułożono podczas budowy przewód $4 \times 70 \text{ mm}^2$ lub przewód $5 \times 70 \text{ mm}^2$.

Tablica 2. Wymagany przekrój przewodów połączeń wyrównawczych miejscowych S_{CC} w stosunku do przekroju przewodów ochronnych S_{PE} o żyłach z tego samego materiału [12]

Części łączone przez przewód wyrównawczy	Szkic objaśniający	Wymagany przekrój przewodu wyrównawczego
część przewodząca dostępna – część przewodząca dostępna		$S_{CC} \geq \min(S_{PE})$ ¹⁾
część przewodząca dostępna – część przewodząca obca		$S_{CC} \geq 0,5 \cdot S_{PE}$ ¹⁾
część przewodząca obca – część przewodząca obca ²⁾		$S_{CC} \geq 6 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$

¹⁾ Jednak co najmniej $2,5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ w przypadku przewodów chronionych od uszkodzeń mechanicznych, a $4 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ w przypadku przewodów niechronionych od uszkodzeń mechanicznych.
 $\min(S_{PE})$ – oznacza mniejszy z przekrojów dwóch przewodów ochronnych (S_{PE1} oraz S_{PE2}).

²⁾ W normie nie ma tej informacji.

Rysunki z normy, przytoczone w tabl. 2, trudno bezpośrednio odnieść do sytuacji rzeczywistej z wieloma ($i = 1, 2 \dots n$) częściami przewodzącymi dostępnymi i wieloma ($j = 1, 2 \dots m$) częściami przewodzącymi obcymi, z których każda jest przyłączona osobnym przewodem do miejscowej szyny wyrównawczej. Aby sens wymagań normy był wtedy respektowany, a przekroje przewodów wyrównawczych wystarczające, niezależnie od miejsca uszkodzenia, należy przestrzegać następujących zasad. Przekrój przewodu wyrównawczego S_{CCi} od każdej części przewodzącej dostępnej do szyny wyrównawczej powinien być nie mniejszy niż przekrój przewodu ochronnego S_{PEi} przyłączonego do zacisku ochronnego tej części przewodzącej dostępnej:

$$S_{CCi} \geq S_{PEi} \quad (4.1)$$

Można by uczynić wyjątek dla urządzenia z przewodem ochronnym o największym przekroju $\max(S_{PEi})$, bo wystarczyłby mu przewód wyrównawczy taki sam, jaki z tej zasady wynika dla urządzenia o najbliższym mniejszym przekroju S_{PEi} .

Z kolei przekrój przewodu wyrównawczego S_{CCj} od każdej części przewodzącej obcej do szyny wyrównawczej powinien być nie mniejszy niż połowa największego z przekrojów przewodów ochronnych urządzeń objętych rozważanymi miejscowymi połączeniami wyrównawczymi:

$$S_{CCj} \geq 0,5 \cdot \max(S_{PEi}) \quad (4.2)$$

5. Układanie przewodów wyrównawczych

W roli przewodów wyrównawczych mogą być wykorzystywane [12] następujące przewody bądź inne części metalowe:

- żyła przewodu wielożyłowego,
- żyła zewnętrzna przewodu współosiowego,
- jednożyłowy izolowany lub goły przewód ułożony we wspólnej osłonie z przewodami skrajnymi,
- izolowany lub goły przewód ułożony na stałe, oddzielnie od przewodów skrajnych,
- metalowa powłoka, ekran, pancierz lub oplót przewodu,
- metalowa rura instalacyjna, metalowa obudowa przewodu szynowego, metalowa obudowa lub ramownica rozdzielnic albo sterownic, pod warunkiem spełnienia wymagań odnośnie do ich przekroju poprzecznego oraz niezawodności połączeń, najlepiej – poświadczonego przez producenta.

Połączenia przewodów wyrównawczych powinny być dostępne do kontroli. Wykonuje się je za pomocą zacisków gwintowych (z szyną wyrównawczą, z większością części przewodzących dostępnych i z niektórymi częściami przewodzącymi obcymi) albo przez spawanie (z częściami przewodzącymi obcymi). Połączenia z rurociągami wykonuje się za pomocą obejm dwuśrubowych. Zaciski przewodów wyrównawczych ochronnych powinny być oznaczone symbolem graficznym przedstawionym na rys. 13a. Same przewody wyrównawcze ochronne na całej długości powinny być wyróżnione zestawieniem barw zielonej i żółtej.



Rys. 13. Oznaczenie zacisku przewodu wyrównawczego: a) ochronnego; b) funkcjonalnego

Nie są dopuszczone [12] w roli przewodów wyrównawczych następujące części metalowe:

- rury wodociągowe ani rury zawierające palne gazy lub płyny,
- elementy konstrukcji poddawane naprężeniom w czasie normalnej pracy, w tym linki nośne,
- części giętkie i/lub sprężyste, jeśli ich przydatność nie jest potwierdzona przez producenta,
- korytka i drabinki instalacyjne.

Ostatnia pozycja wymaga doprecyzowania. Ciąg metalowych korytek, drabinek lub listew instalacyjnych nie powinien być traktowany jako zastępczy przewód ochronny do połączenia między sobą albo z szyną wyrównawczą części przewodzących dostępnych lub części przewodzących obcych, które podlegają połączeniom wyrównawczym. Jednak może być tak wykonany, że zapewnia dostateczną ciągłość elektryczną odcinków montażowych wzdłuż swojej długości i wystarczy doń przyłączyć przewód wyrównawczy w jednym miejscu, by cały ciąg korytek, drabinek lub listew o określonej długości uznać za objęty wyrównaniem potencjału. Może to dotyczyć nawet ciągu korytek (o długości np. do 50 m) złożonego z odcinków łączonych na zatrzaski, a nie śrubami. Takie wykonanie producenci zachwalają sloganem *Potentialausgleich eingebaut*, dosłownie: *ekwipotentjalizacja wbudowana*.

Pogłębia się zamieszanie w **literowych oznaczeniach połączeń i przewodów wyrównawczych**. Przez wiele lat były w międzynarodowym użyciu oznaczenia:

CC – przewód wyrównawczy (ochronny),

MM – przewód wyrównawczy funkcjonalny,

ale Niemcy stosowali własny akronim PA (*Potentialausgleichleiter*)

Norma PN-EN 60445:2011 [14] wprowadza nowe oznaczenia:

PB (*protective bonding*) – przewód wyrównawczy ochronny, z możliwością uszczegółowienia:

PBE (*protective bonding earthed*)

– przewód wyrównawczy ochronny uziemiony,

PBU (*protective bonding unearthed*)

– przewód wyrównawczy ochronny nieuziemiony,

FB (*functional bonding*) – przewód wyrównawczy funkcjonalny,

ale Niemcy konsekwentnie utrzymują człon PA, np.:

SPAL (*Schutz-Potentialausgleichleiter*) – przewód wyrównawczy ochronny,

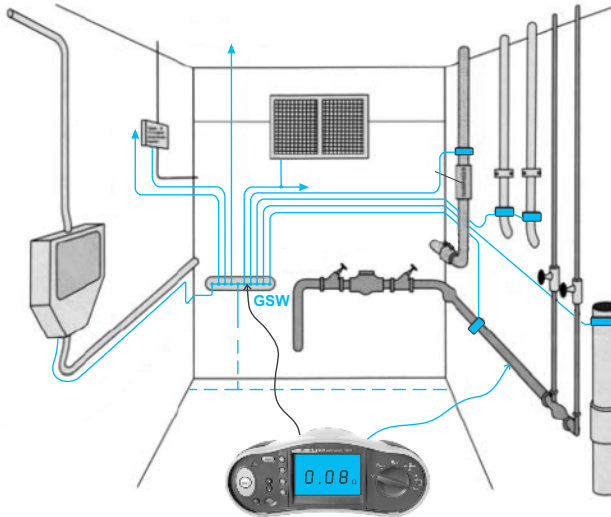
BPAL (*Blitzschutz-Potentialausgleichleiter*) – przewód wyrównawczy odgromowy.

6. Sprawdzanie ciągłości przewodów wyrównawczych

Przewody wyrównawcze należą do przewodów, których naruszenie ciągłości nie ujawnia się i może dłuższy czas pozostawać niezauważone, skutkując niesprawnością funkcji ochronnych. Dlatego tak ważne jest sprawdzanie ich ciągłości podczas przeglądu technicznego odbiorczego i przeglądów okresowych [2, 6, 13]. Sprawdzanie odbywa się przez pomiar rezystancji przewodów wraz ze wszelkimi ich połączeniami.

Mierniki rezystancji przewodów ochronnych i wyrównawczych powinny spełniać wymagania normy PN-EN 61557-4:2007. Napięcie pomiarowe może być napięciem

stałym (DC) lub przemiennym (AC) o wartości **od 4 V do 24 V** przy obwodzie otwartym (w stanie jałowym, bez obciążenia). Prąd pomiarowy na najniższym zakresie pomiarowym nie powinien być mniejszy niż **0,2 A**. Zakres pomiarowy, w którym nie powinien być przekroczony największy dopuszczalny błąd roboczy ($\pm 30\%$), powinien obejmować wartości od **0,2 Ω do 2 Ω** . Wymuszony w badanym obwodzie przepływ prądu pomiarowego powinien trwać co najmniej **10 s**, aby wyeliminować wpływ zjawisk przejściowych na wynik pomiaru i wykryć wadliwe połączenia. Jeżeli przewodem wyrównawczym jest izolowany przewód giętki, to w celu ujawnienia ewentualnych miejsc złej styczności i naruszenia ciągłości, podczas pomiaru należy nim poruszać na całej długości.



Rys. 14. Sprawdzenie ciągłości głównego połączenia wyrównawczego między głównym rurociągiem wody a główną szyną wyrównawczą w pomieszczeniu przyłączowym budynku

Miernik wykorzystujący napięcie pomiarowe stałe powinien mieć **przełącznik do zmiany biegunowości napięcia wyjściowego** albo powinien umożliwiać zamianę przewodów pomiarowych. Chodzi o to, aby wyeliminować ewentualny wpływ napięcia polaryzacji naturalnych ogniw galwanicznych wynikłych z zastosowania różnych metali w połączeniach przewodów badanego odcinka oraz wpływ spadku napięcia na mierzonej rezystancji przewodów wywołanego prądami błądzącymi. Jeżeli wynik pomiaru jest identyczny, niezależnie od biegunowości napięcia, to można go przyjąć za poprawny. Natomiast jeżeli te dwa wyniki się różnią, ale są stabilne, to za poprawny należy uznać wartość średnią arytmetyczną obu wyników.

Miernik należy przyłączać w takich miejscach (rys. 14), aby pomiar obejmował wszystkie połączenia przewodów badanego połączenia wyrównawczego. Długość badanego odcinka przewodów wyrównawczych głównych lub miejscowych może być różnaita, podobnie jak liczba połączeń na tym odcinku. Niezależnie od tego rezystancja pojedynczego połączenia wyrównawczego głównego lub miejscowego (przewodów i ich połączeń) nie powinna przekraczać wartości 1,0 Ω .

7. Literatura

1. Biegelmeier G., Kiefer G., Krefter K.-H.: Schutz in elektrischen Anlagen. VDE-Verlag, Berli, 1998.
2. Bödeker K.: E-Check und Wiederholungsprüfung. Teil 5: Nachweis des Potentialausgleichs. Elektropraktiker, 1998, nr 7, s. 648-651.
3. Hering E.: Schutzpotentialausgleichsleiter-Mindestquerschnitte. Elektropraktiker, 2010, nr 8, s. 658-660.
4. 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.
5. Musiał E.: Najwyższy czas zaprzestać parodiowania normalizacji. Biul. SEP, *INPE* „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2002, nr 48, s. 96-110.
6. Nienhaus H.: Messen der Durchgängigkeit der Verbindungen des Hauptpotentialausgleichs. Der Elektro- und Gebäudetechniker, 2000, nr 20, s. 18-21.
7. Zarządzenie Ministra Górnictwa i Energetyki oraz Ministra Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych z dnia 31 grudnia 1968 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinna odpowiadać ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu do 1 kV.
8. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (wraz z późniejszymi zmianami).
9. PN-66/E-05009: Urządzenia elektroenergetyczne. Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach o napięciu znamionowym do 1000 V.
10. PN-HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
11. PN-HD 60364-4-444:2010 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-444: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed zaburzeniami napięciowymi i zaburzeniami elektromagnetycznymi (oryg.).
12. 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.
13. PN-HD 60364-6:2008 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 6: Sprawdzenie.
14. PN-EN 60445:2011 Zasady podstawowe i bezpieczeństwa przy współdziałaniu człowieka z maszyną, oznaczanie i identyfikacja – Identyfikacja zacisków urządzeń i zakończeń przewodów (oryg.). Wprowadza EN 60445:2010 [IDT].
15. PN-EN 50310:2007 Stosowanie połączeń wyrównawczych i uziemiających w budynkach z zainstalowanym sprzętem informatycznym.
16. ITU-T Recommendation K.27: Protection against interference. Bonding configurations and earthing inside a telecommunication building. International Telecommunication Union, 1996.
17. DIN 18012:2008-05 Haus-Anschlusseinrichtungen – Allgemeine Planungsgrundlagen.
18. DIN VDE 0618-1:1989-08 Betriebsmittel für den Potentialausgleich – Potentialausgleichsschiene (PAS) für den Hauptpotentialausgleich.
19. NF C 15-100:2002 Installations électriques à basse tension.

Załącznik

**Errata do polskojęzycznej wersji tekstu normy
PN-HD 60364-5-54:2010 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 5-54: Dobór
i montaż wyposażenia elektrycznego. Uziemienia, przewody ochronne i przewody połą-
czeń ochronnych**

Miejsce	Jest	Powinno być
Tytuł normy	Uziemienia, przewody ochronne i przewody połączeń ochronnych To pleonazm (masło maślane)	Uziemienia, przewody ochronne i przewody wyrównawcze ochronne
s. 6 541.3.5	przewód ochronny wyrównawczy – przewód ochronny przeznaczony do połączenia ekwipotentjalnego ochronnego	przewód wyrównawczy ochronny – przewód ochronny przeznaczony do połączenia wyrównawczego ochronnego
s. 7 542.1.1	Układy uziemiające mogą być stosowane razem lub oddzielnie do celów ochrony i funkcjonalnych, zgodnie z wymaganiami instalacji elektrycznej.	Układy uziemiające do celów ochronnych i do celów funkcjonalnych mogą być wspólne lub oddzielne , stosownie do wymagań stawianych przez instalację.
s. 7 542.1.4 2. wyliczenie	– może przewodzić doziemne prądy zwarciove i prądy przewodu ochronnego do ziemi bez niebezpieczeństwa wystąpienia naprężeń cieplnych, cieplno-mechanicznych i elektromechanicznych i od porażen elektrycznych pojawiających się od tych prądów;	– może odprowadzać do ziemi prądy ziemnozwarciowe i prądy w przewodzie ochronnym nie wywołując niedopuszczalnych narażeń cieplnych, termomechanicznych i elektrodynamicznych ani zagrożenia porażeniem;
s. 7 542.1.4 3. wyliczenie	– uwzględnić wytrzymałość lub ochronę mechaniczną i odpowiednią wytrzymałość korozyjną z uwzględnieniem oceny wpływów zewnętrznych	– zapewnić wytrzymałość lub ochronę mechaniczną i należytą odporność korozyjną z uwzględnieniem narażeń środowiska pracy
s. 7 542.2.1 1. akapit	Materiały i wymiary uziomów powinny być dobrane tak, aby były odporne na korozję oraz aby miały odpowiednią wytrzymałość mechaniczną.	Materiały i wymiary uziomów powinny być tak dobrane, aby uziomy były odporne na korozję i miały odpowiednią wytrzymałość mechaniczną.
s. 7 542.2.1 2. akapit	Tam gdzie elektrody są otoczone otuliną betonową, zaleca się stosowanie betonu o odpowiedniej jakości i grubości otuliny betonowej wynoszącej co najmniej 5 cm, aby uniknąć korozji tych elektrod.	Jeżeli uziom jest zalany betonem, to dla ochrony od korozji zaleca się beton o odpowiedniej jakości oraz grubość otuliny betonowej co najmniej 5 cm.
s. 8, Tablica 54.1 2. kolumna 5. wiersz	Nieosłonięta	Goła
s. 8, Tablica 54.1 3. kolumna 11. wiersz	<i>pusta komórka</i>	Linka
s. 8, Tablica 54.1 3. kolumna 12. i 14. wiersz	1,8 dla każdej skrętki Skrętka – zespół drutów skręconych razem, będący częścią żyły wielodrutowej.	1,8 dla pojedynczego drutu w lince
s. 8, Tablica 54.1 Przypis ^a	Odpowiednie także dla elektrod w otulinie betonowej.	Dotyczy także uziomów w otulinie betonowej.

Ochrona przeciwporażeniowa

s. 8, Tablica 54.1 Przypis ^b	Powłoka nie jest stosowana.	Bez powłok ochronnych
s. 9 542.2.3	– podziemne metalowe elementy umieszczone w fundamentach; – spawane zbrojenie betonu (poza zbrojeniem naprężanym) umieszczone w ziemi; Zbrojenie betonu stosuje się właśnie po to, aby przyjmowało naprężenia, aby było naprężane.	– metalowe elementy zatopione w fundamentach; – spawane zbrojenie betonu (z wyjątkiem betonu sprężonego) pograżonego w ziemi;
s. 9 542.2.4	Dobierając rodzaj i głębokość umieszczenia uziomu, należy wziąć pod uwagę warunki lokalne i wymagania tak, aby wysychanie i zamarzanie gruntu nie powodowały zwiększenia rezystancji uziemienia do takiej wartości, która mogłaby niekorzystnie wpłynąć na pracę środków przed porażeniem prądem elektrycznym.	Dobierając rodzaj i głębokość pograżenia uziomu, należy uwzględnić lokalne warunki i wymagania , aby wysychanie i zamarzanie gruntu nie zagrażało zwiększeniem rezystancji uziemienia w stopniu szkodzącym skuteczności środków ochrony przeciwporażeniowej.
s. 9 542.2.5	Należy wziąć pod uwagę możliwość występowania korozji elektrolitycznej , jeżeli są stosowane różne materiały do budowy układu uziomowego.	Należy uwzględnić zagrożenie korozją galwaniczną , jeżeli układ uziomowy jest wykonany z różnych materiałów. Korozja galwaniczna – przyspieszona korozja metalu w następstwie styczności elektrycznej z bardziej szlachetnym metalem w środowisku elektrolitycznym.
s. 9 542.2.6	Rury metalowe do plynów palnych lub gazów nie powinny być wykorzystane jako uziom. tzn. wszelkich gazów!!!!?	Rurociągów palnych plynów lub gazów nie należy wykorzystywać w roli uziomów.
s. 9 542.2.6 UWAGA	Wymaganie to nie wyklucza objęciem połączeniami ochronnymi takich rur...	Nie oznacza to zakazu obejmowania takich rurociągów połączeniami wyrównawczymi ...
s. 9 542.2.7, 2. zdanie	Połączenie to powinno być wykonane jako spawane lub jako odpowiednie połączenia mechaniczne.	Połączenia te powinny być wykonane przez spawanie lub za pomocą właściwych zacisków.
s. 9 542.2.7, 3. zdanie	Punkt połączenia przewodu uziomowego powinien być dostępny.	Miejsce przyłączenia przewodu uziemiającego powinno być dostępne.
s. 10 Tablica 54.2 UWAGA	Gdy udarowa wytrzymałość mechaniczna nie przekracza energii 5 J lub równoważnej (np. wysoki stopień ochrony kanałów , zgodnie z EN 61386-1), przewód uziemiający uważany jest za niechroniony mechanicznie. 1) Nie ma terminu udarowa wytrzymałość mechaniczna. 2) W oryginale jest conduit, czyli rura instalacyjna, a nie kanał.	W braku ochrony od uderzeń mechanicznych o energii 5 J albo równoważnej (np. osłonięcia ciężką rurą instalacyjną wg EN 61386-1), uważa się, że przewód uziemiający nie jest chroniony od uszkodzeń mechanicznych.
s. 10 542.3.2 1. zdanie	Połączenie przewodu uziemiającego z uziomem powinno być wykonane poprawnie i zadowalająco pod względem elektrycznym.	Połączenie przewodu uziemiającego z uziomem powinno być mocne i zadowalające pod względem elektrycznym.

s. 10 542.3.2 2. zdanie	Połączenie powinno być wykonane jako spawane egzotermicznie , za pomocą złączy zaciskowych, zacisków lub innych połączeń mechanicznych.	Połączenie powinno być wykonane przez spawanie termitowe , za pomocą zacisków zaprasowywanych, zacisków gwintowych lub innych połączeń mechanicznych.
s. 10 542.3.2 4. zdanie	Gdy są stosowane zaciski, to nie powinny one powodować uszkodzenia uziomu lub przewodu uziemiającego.	Stosowane zaciski nie powinny uszkadzać uziomu ani przewodu uziemiającego.
s. 10 542.3.2 UWAGA	Urządzenia łączące lub mocujące, które polegają głównie na połączeniu lutowanym, nie są odpowiednie do zapewnienia wystarczającej wytrzymałości mechanicznej. solely – tylko, wyłącznie, a nie: głównie	Złączki i uchwyty polegające tylko na połączeniu lutowanym nie zapewniają należytej wytrzymałości mechanicznej.
s. 10 542.4	Główny zacisk uziemiający	Główna szyna uziemiająca
s. 10 542.4.1	W każdej instalacji, w której stosowane jest połączenie ochronne, powinien znajdować się główny zacisk uziemiający, do którego należy przyłączyć:	W instalacji, w której są połączenia wyrównawcze ochronne należy wykonać główną szynę wyrównawczą , do której należy przyłączyć:
s. 10 542.4.2	Powinna być możliwość odłączenia każdego przewodu przyłączonego do głównego zacisku uziemiającego. To połączenie powinno być wykonane w sposób pewny i jego rozłączenie może nastąpić tylko z użyciem narzędzi.	Każdy przewód przyłączony do głównej szyny uziemiającej powinien dać się odłączyć z osobna. Połączenie powinno być niezawodne, a odłączenie powinno wymagać użycia narzędzia .
s. 10 542.4.2 UWAGA	Elementy rozłączalne powinny być łączone z głównym zaciskiem uziemiającym w sposób umożliwiający pomiar rezystancji uziemienia.	Elementy do rozłączania mogą być powiązane z główną szyną uziemiającą w sposób umożliwiający pomiar rezystancji uziemienia.
s. 10 543.1.1 2. akapit	Przekrój przewodu ochronnego powinien być albo obliczony zgodnie z 543.1.2, albo dobrany zgodnie z Tablicą 54.3. W innym przypadku , powinny być wzięte pod uwagę wymagania podane w 543.1.3. Tekst polski formułuje błędną procedurę doboru przekroju przewodów ochronnych.	Przekrój przewodu ochronnego powinien być albo obliczony zgodnie z 543.1.2, albo dobrany zgodnie z Tablicą 54.3. W obu przypadkach należy uwzględnić wymagania podane w 543.1.3. either ≠ other
s. 10 543.1.1 3. akapit	Zaciski dla przewodów ochronnych powinny umożliwiać przyłączenie przewodów o wymiarach wymaganych przez niniejszy podrozdział.	Zaciski przewodów ochronnych powinny umożliwiać przyłączenie przewodów o przekrojach wymaganych w niniejszym podrozdziale.
s. 11 Tablica 54.3 Przypisy	k_1 jest wartością... zgodnie z rodzajem materiałów przewodu oraz izolacji izolacja przewodu jest częścią przewodu	k_1 jest wartością... stosownie do materiału żyły oraz izolacji przewodu
s. 11 543.1.2	Przekrój przewodów ochronnych nie powinien być mniejszy niż wyznaczona wartość albo – według IEC 60949, lub – następującej zależności...	Przekrój przewodów ochronnych nie powinien być mniejszy niż wartość wyznaczona – albo według IEC 60949, – albo z następującej zależności...

s. 11 543.1.2	<i>t</i> jest czasem zadziałania urządzenia ochronnego przy samoczynnym wyłączeniu, w s,	<i>t</i> jest czasem wyłączenia urządzenia zabezpieczającego , w sekundach,
s. 12 543.1.2 UWAGA 3	Ponieważ metalowe powłoki kabli o izolacji mineralnej zgodnie z EN 60702-1 mają obciążalność przy zwarciu doziemnym większą niż przewody fazowe, nie jest wymagane obliczenie przekroju poprzecznego powłok metalowych, jeżeli są one wykorzystywane jako przewody ochronne.	Ponieważ metalowe powłoki przewodów o izolacji mineralnej zgodnych z EN 60702-1 mają obciążalność zwarciovą większą niż żyły fazowe, nie wymaga się sprawdzania ich przekroju, kiedy są one wykorzystywane jako przewody ochronne.
s. 12 543.1.4	Gdy przewód ochronny jest wspólny do dwóch lub więcej obwodów, jego przekrój powinien być wyznaczony w następujący sposób: – obliczony zgodnie z 543.1.2 dla największego spodziewanego prądu zwarciovego oraz czasu jego przepływu w tych obwodach ; lub – dobrany zgodnie z Tablicą 54.3 tak, aby był odpowiedni do największego przekroju przewodu fazowego w obwodzie .	Jeżeli przewód ochronny jest wspólny dla dwóch lub więcej obwodów, to jego przekrój powinien być: – obliczony zgodnie z 543.1.2 dla najbardziej niekorzystnych wartości spodziewanego prądu zwarciovego i czasu wyłączenia w tych obwodach lub – dobrany zgodnie z Tablicą 54.3 do największego przekroju przewodu fazowego w tych obwodach .
s. 12 543.2.2	Gdy instalacja zawiera urządzenia mające metalowe obudowy takie jak wyłącznik niskiego napięcia i zespoły urządzeń sterujących lub układu szyn zbiorczych , metalowe obudowy lub konstrukcje, to mogą być one wykorzystane jako przewody ochronne, jeżeli spełniają jednocześnie trzy następujące wymagania: a) ciągłość elektryczna powinna być zapewniona przez konstrukcję lub przez odpowiednie połączenie tak, aby zapewnić ochronę przed pogorszeniem się jakości mechanicznej, chemicznej i elektrochemicznej ; b) zgodność z wymaganiami podanym w 543.1; c) powinny one umożliwić podłączenie innych przewodów ochronnych w każdym wcześniej ustalonym dostępnym punkcie.	W obrębie urządzeń o metalowej obudowie, jak niskonapięciowe rozdzielnice i sterownice albo przewody szynowe , metalowe obudowy lub ramy mogą być wykorzystane jako przewody ochronne, jeżeli spełniają trzy następujące warunki: a) ich ciągłość elektryczna jest zapewniona przez konstrukcję lub odpowiednie połączenie gwarantujące ochronę przed uszkodzeniami natury mechanicznej, chemicznej lub elektrochemicznej; b) odpowiadają wymaganiom 543.1; c) umożliwiają przyłączenie innych przewodów ochronnych w każdym wcześniej ustalonym punkcie odgałęzienia.
s. 12 543.2.3 6. wyliczenie	– elementy podtrzymujące oprzewodowania ;	– linki nośne ;
s. 13 543.3.2	Połączenia przewodów ochronnych powinny być dostępne dla kontroli i badań z wyjątkiem – połączeń niedostępnych , Czy można w normie napisać większą bzdurę? Można i to wielokrotnie. Zaczęło się w punkcie 543.3.2 PN-IEC 60364-5-54:1999.	Połączenia przewodów ochronnych powinny być dostępne dla ogłędzin i badań z wyjątkiem – złązek zalewanych masą izolacyjną ,

<p>s. 13 543.3.3</p>	<p>Urządzenie nie wyłączające można umieszczać w przewodzie ochronnym, lecz połączenia wykorzystane w celu przeprowadzenia badań można rozłączyć jedynie z zastosowaniem narzędzi.</p> <p style="text-align: center;">Bezsensowne zdanie</p>	<p>W przewodzie ochronnym nie należy umieszczać żadnych łączników, ale są dopuszczalne połączenia rozłączalne za pomocą narzędzia w celu przeprowadzania badań.</p>
<p>s. 13 543.3.4</p>	<p>Gdy stosowany jest elektryczny monitoring uziemień, nie należy stosować żadnych specjalistycznych urządzeń (np. czujniki eksploatacyjne, cewki) włączonych szeregowo w przewody ochronne.</p>	<p>W układach monitoringu ciągłości połączeń uziemiających nie należy włączać szeregowo w przewody ochronne urządzeń do tego celu (np. czujników, cewek)</p>
<p>s. 13 543.3.5</p>	<p>Części przewodzące dostępne aparatów nie powinny być wykorzystywane do budowy części przewodu ochronnego innego wyposażenia, z wyjątkiem spełniających wymagania 543.2.2.</p> <p style="text-align: center;">Kto się domyśli, o co tu chodzi?</p>	<p>Części przewodzących dostępnych urządzeń nie należy wykorzystywać w roli połączenia ochronnego innych urządzeń, z wyjątkiem odstępstwa podanego w 543.2.2.</p> <p style="text-align: center;">Przez dziesiątki lat pisano zrozumiale: Nie dopuszcza się szeregowego łączenia uziemianych części.</p>
<p>s. 13 543.4.1</p>	<p>Przewód PEN może być używany w instalacjach elektrycznych ułożonych na stałe i, z przyczyn mechanicznych, powinien mieć przekrój nie mniejszy niż 10 mm² dla żył miedzianych i 16 mm² dla żył aluminiowych.</p>	<p>Przewód PEN może być używany tylko w instalacjach elektrycznych ułożonych na stałe i, ze względu na wytrzymałość mechaniczną, powinien mieć przekrój co najmniej 10 mm² z miedzi lub 16 mm² z aluminium.</p>
<p>s. 13 543.4.2 UWAGA</p>	<p>Użycie izolowanego lub nieizolowanego przewodu PEN wewnątrz urządzenia, np. w aparaturze łączeniowej, powinno być wzięte pod uwagę przez odpowiedni komitet do spraw urządzeń, z uwzględnieniem istotnego wplywu na EMC, które może być w instalacji elektrycznej.</p> <p style="text-align: center;">Bełkot</p>	<p>Zaleca się, aby właściwy komitet techniczny rozważył, czy wymagać izolowania przewodu PEN wewnątrz urządzenia, np. rozdzielniczy, ze względu na warunki kompatybilności elektromagnetycznej (EMC).</p>
<p>s. 13 543.5</p>	<p>Wspólny uziom ochronny i funkcjonalny</p>	<p>Wspólne uziemienie ochronne i funkcjonalne</p>
<p>s. 13 543.5.1</p>	<p>Gdy stosowany jest wspólny przewód ochronny i funkcjonalny uziemiający, to powinien on spełniać wymagania dla przewodu ochronnego. Dodatkowo, powinien on także być zgodny z odpowiednimi wymaganiami w zakresie funkcjonalności (patrz R064-004).</p> <p style="text-align: center;">W tekście angielskim przywołano nieaktualny raport CENELEC R064-004: 1999.</p>	<p>Wspólny przewód ochronny i uziemienia funkcjonalnego powinien spełniać wymagania stawiane przewodom ochronnym. Ponadto powinien on spełniać wymagania stawiane uziemieniom funkcjonalnym (patrz R064-004^{N1}).</p> <p>^{N1}) Odsyłacz krajowy: odpowiednikiem krajowym jest PN-HD 60364-4-444: 2010.</p>

<p>s. 14 543.7 UWAGA 2</p>	<p>W sieciach TN-C, w których jeden przewód (przewód PEN) stanowi połączenie przewodów ochronnego i neutralnego, prąd w przewodzie ochronnym może być uważany za prąd obciążenia.</p> <p>1) Wprowadzające w błąd sformułowanie: ... połączenie przewodów ochronnego i neutralnego... 2) Znikły słowa: aż do zacisków urządzenia</p>	<p>W układzie TN-C, w którym jest wspólny przewód ochronny i neutralny (przewód PEN) aż do zacisków urządzenia, prąd przewodu ochronnego może być uważany za prąd obciążenia.</p>
<p>s. 14 543.7 UWAGA 3</p>	<p>Urządzenia elektryczne mające normalnie duży prąd przewodu ochronnego mogą nie być zgodne z instalacjami z zainstalowanymi urządzeniami ochronnymi różnicowoprądowymi.</p>	<p>Odbiorniki elektryczne o dużym prądzie przewodu ochronnego mogą nie nadawać się do instalacji z urządzeniami ochronnymi różnicowoprądowymi.</p>
<p>s.14 544.1.1</p>	<p>Kardynalny błąd w oryginale normy.</p>	<p>Brak wymagania, że przekrój S_{CC} przewodu głównych połączeń wyrównawczych powinien być nie mniejszy niż połowa wymaganego przekroju przewodu ochronnego (z tego samego materiału) linii zasilającej S_{PE}, tzn.: $S_{CC} \geq 0,5 \cdot S_{PE}$, z jednoczesnym odstępstwem, że nie wymaga się przekroju (z miedzi) większego niż 25 mm^2.</p>
<p>s. 15 544.2.2</p>	<p>Przewód połączenia ochronnego łączący części przewodzące dostępne z częściami przewodzącymi obcymi powinien mieć przewodność nie mniejszą niż połowa przekroju poprzecznego odpowiedniego przewodu ochronnego.</p> <p>1) ... przewodność nie mniejszą niż połowa przekroju przewodu? 2) <i>conductance</i> od kilkudziesięciu lat tłumaczy się jako <i>kondunktancja</i> (odwrotność rezystancji). Błąd w oryginale normy: przekrój przewodu wyrównawczego wolno dowolnie zmniejszać, byle w tym samym stopniu zmniejszać jego długość.</p>	<p>Przewód wyrównawczy ochronny łączący części przewodzące dostępne z częściami przewodzącymi obcymi powinien mieć konduktancję^{N1} nie mniejszą niż połowa konduktancji odpowiedniego przewodu ochronnego.</p> <p>^{N1} Obie konduktancje odnoszą się do jednostki długości przewodu.</p>
<p>s. 15 Rysunek 544B</p>	<p>Przewody połączenia ochronnego pomiędzy jedną częścią przewodzącą dostępną M i jedną konstrukcją</p>	<p>Przewód połączenia wyrównawczego ochronnego pomiędzy częścią przewodzącą dostępną M i częścią przewodzącą obcą (konstrukcją)</p>
<p>s. 17 Tablica A.54.4</p>	<p>Wartości k dla przewodów ochronnych wykonanych jako rdzeń w przewodach lub stanowiących element wiązki z innymi przewodami, lub przewody izolowane</p>	<p>Wartości k dla przewodów ochronnych będących żyłą przewodu lub kabla albo ułożonych w wiązce z innymi przewodami lub kablami</p>
<p>s. 17 Tablica A.54.5</p>	<p>Wartości k dla przewodów ochronnych wykonanych jako metalowa warstwa, np. pancerz, metalowa powłoka, przewód koncentryczny itp.</p>	<p>Wartości k dla pancerza, powłoki lub żyły zewnętrznej przewodu współosiowego wykorzystanych w roli przewodu ochronnego</p>

s. 17 Tablica A.54.5 Odkładnik ^b	^b Wartość ta może być także stosowana dla gołych przewodów z możliwością ich dotknięcia i styku z materiałem palnym.	^b Wartość ta może być także stosowana dla przewodów gołych dostępnych dla dotyku lub stykających się z materiałem palnym.
s. 18 Tablica A.54.6	Wartość k dla gołych przewodów, gdy nie ma ryzyka uszkodzenia sąsiedniego materiału na skutek podanej temperatury	Wartość k dla przewodów gołych, jeżeli podana temperatura maksymalna nie zagraża sąsiednim materiałom
s. 19	LV-zestaw Wkładka izolacyjna Na stronie 20 jest <i>wstawka izolacyjna.</i>	Rozdzielnica LV Wstawka izolacyjna
s. 21 ZA.1 1. akapit 2. zdanie	Rezystywność ta zmienia się w zależności od miejsca i głębokości. zmiana głębokości nie jest zmianą miejsca?	Rezystywność ta zmienia się w zależności od usytuowania w terenie i głębokości pograżenia.
s. 21 ZA.1 3. akapit	Aspekt powierzchni i roślinności może dać pewne wskazówki na mniej lub bardziej sprzyjające charakterystyki gruntu dla realizacji uziomu . Badania uziomów wykonane w podobnym gruncie dają lepsze wskazówki. Belkot	Wygląd terenu i stan roślinności mogą wstępnie wskazywać, czy grunt ma własności korzystne do budowy uziomów . Bardziej miarodajne są pomiary na uziomach wykonanych w podobnym gruncie.
s. 22 ZA.3	Uziomy specjalne zbudowane <i>Tytuł oryginału Earth electrodes especially erected dosłownie znaczy: Uziomy umyślnie wykonane czyli po polsku: uziomy sztuczne.</i>	Uziomy sztuczne Tak się one nazywają po polsku od kilkudziesięciu lat jako przeciwieństwo <i>uziomów naturalnych.</i>
s. 23 1. akapit pod wzorem	Należy zauważyć, że przewody leżące w rowie i ułożone na drodze w kształcie sinusoidy, nieznacznie zmniejszają rezystancję uziemienia. Belkot	Układanie uziomu w rowie linią falistą nie mniejsza w dostrzegalnym stopniu rezystancji uziemienia.
s. 23 2. akapit pod wzorem	– uziomy fundamentowe obiektów budowlanych: te uziomy są wykonane w kształcie fundamentowej pętli utworzonej z zewnętrznych fundamentów obiektu budowlanego.	– uziomy fundamentowy budynku: te uziomy wykonuje się w fundamencie jako otok wzdłuż obrysu budynku.
s. 26 Dania 543.2.1	Określone części przewodzące konstrukcji mogą być wykorzystane jako przewody ochronne, np. dźwigi, windy.	Określone części przewodzące konstrukcji np. w urządzeniach dźwigowych mogą być wykorzystane jako przewody ochronne.
s. 26 Niemcy 542.2.3	Jest obowiązkowe zbudowanie w każdym nowym obiekcie budowlanym uziomów fundamentowych zgodnie z National Standard DIN 18014.	W każdym nowym budynku należy wykonać uziom fundamentowy zgodnie z Normą Niemiecką DIN 18014.
s. 26 Niemcy 543.4.2	Systemy przewodów szynowych, zgodnie z EN 61534-1, należy poddać próbie typu.	Jeżeli systemy przewodów szynowych są zgodne z EN 61534-1, to uważa się, że przeszedł próbę typu.