

dr inż. Wojciech Kazimierz OLESZAK<sup>a</sup>, dr n. tech. Andrzej Antoni CZAJKOWSKI<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Wyższa Szkoła Humanistyczna Towarzystwa Wiedzy Powszechnej w Szczecinie, Wydział Nauk Stosowanych  
Higher School of Humanities of Common Knowledge Society in Szczecin, Faculty of Applied Sciences

<sup>b</sup> Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Szczecinie, Wydział Systemów Automotive  
Higher School of Technology and Economics in Szczecin, Faculty of automotive Systems

## OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA

### Streszczenie

**Wstęp i cele:** W pracy przedstawiono problem ochrony przeciwporażeniowej. Głównym celem pracy jest przedstawienie zagrożeń jakie niesie kontakt człowieka z prądem elektrycznym jak również metody przeciwdziałania wszelkim porażeniom.

**Materiały i metody:** Materiał stanowią źródła dotyczące ochrony przeciwpożarowej i przeciwporażeniowej w instalacjach elektrycznych. Zastosowano metodę analizy i syntezy.

**Wyniki:** Z analizy wynika, że zasadniczy wpływ na dużą liczbę śmiertelnych porażений prądem elektrycznym oraz pożarów w Polsce ma na ogół zły stan techniczny instalacji elektrycznych w obiektach budowlanych, w tym w mieszkaniach i budynkach mieszkalnych oraz w gospodarstwach rolniczych i ogrodniczych. Stwierdzono, że zagrożeniem dla odbiorcy energii elektrycznej są instalacje wykonane przewodami z aluminium, materiału o słabych właściwościach fizykochemicznych: niskiej temperaturze topnienia i dużej łamliwości.

**Wnioski:** Skuteczność ochrony przeciwporażeniowej zależy od zastosowanych, w instalacjach elektrycznych, rozwiązań i środków technicznych. Samoczynne szybkie wyłączenie zasilania jest najczęściej stosowanym i najpewniejszym środkiem ochrony dodatkowej stosowanym w układach sieciowych TN, TT oraz IT. Obudowy izolacyjne urządzeń powinny mieć stopień ochrony co najmniej IP2X i być odporne na spodziewane obciążenia mechaniczne, elektryczne i termiczne.

**Słowa kluczowe:** Ochrona, zagrożenie przeciwporażeniowe, urządzenia elektryczne, metody ochrony stanowiska, stopnie ochrony, klasy ochrony.

(Otrzymano: 01.10.2018; Zrecenzowano: 18.10.2018; Zaakceptowano: 24.10.2018)

## PROTECTION AGAINST ELECTRIC SHOCK

### Abstract

**Introduction and aims:** The work presents the problem of protection against electric shock. The main purpose of the work is to present the hazards of human contact with electric current as well as methods of counteracting any paralyzes.

**Material and methods:** The material are sources related to fire and shock protection in electrical installations. The analysis and synthesis method was used.

**Results:** The analysis shows that the basic condition for a large number of fatal electric shocks and fires in Poland is generally the poor technical condition of electrical installations in building facilities, including flats and residential buildings as well as in agricultural and horticultural farms. It was found that the threat to the electricity consumer are installations made of aluminum conductors, a material with poor physicochemical properties: low melting point and high brittleness.

**Conclusions:** The effectiveness of the electric shock protection depends on the ones used in electrical installations, solutions and technical measures. Automatic fast power off is the most commonly used and the most reliable means of additional protection used in network systems TN, TT and IT. Equipment insulating enclosures should have at least IP2X degree of protection and be resistant to expected mechanical, electrical and thermal loads.

**Keywords:** Protection, risk of electric shock, electrical equipment, methods of protection of the stand, degrees of protection, protection classes.

(Received: 01.10.2018; Revised: 18.10.2018; Accepted: 24.10.2018)

## 1. Ochrona przeciwporażeniowa

### 1.1. Wybrane zagadnienia ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach elektrycznych do 1 kV.

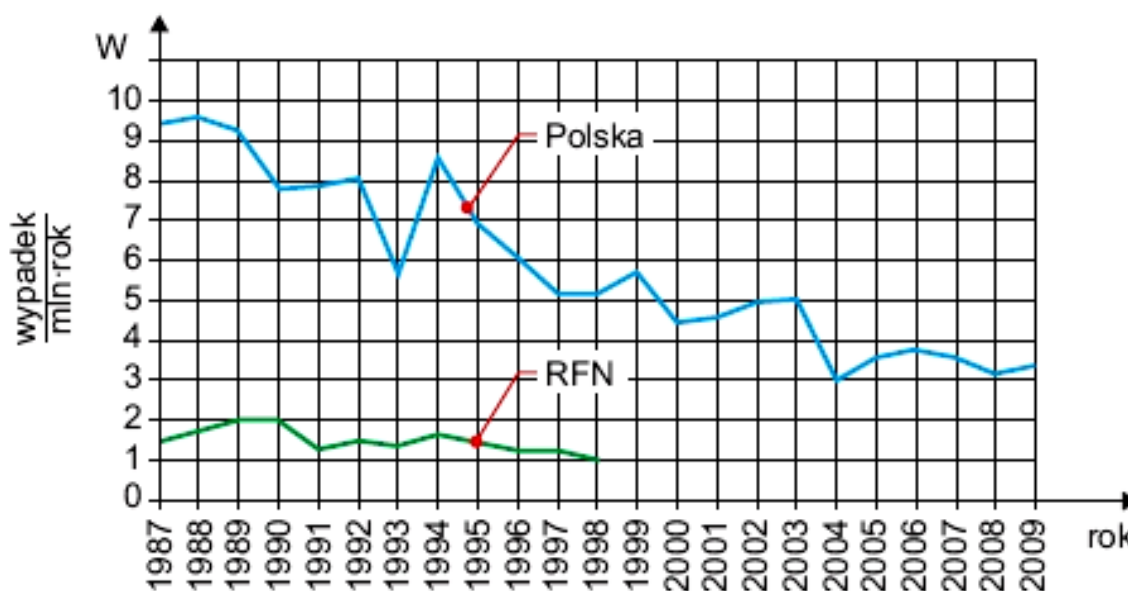
Bezpieczeństwo elektryczne w użytkowanych instalacjach elektrycznych sprowadza się w zasadzie do zapewnienia ochrony przed następującymi zagrożeniami:

- porażeniem prądem elektrycznym,
- prądami przeciążeniowymi i zwarciovymi,
- przepięciami łączeniowymi i pochodzącymi od wyładowań atmosferycznych
- skutkami cieplnymi.

Skuteczność ochrony przeciwporażeniowej przed wyżej wymienionymi zagrożeniami zależy od zastosowanych, w instalacjach elektrycznych, rozwiązań i środków technicznych. Miarą skuteczności ochrony przeciwporażeniowej jest liczba śmiertelnych wypadków porażen prądem elektrycznym oraz liczba pożarów, będących następstwem wad lub nieprawidłowej eksploatacji instalacji elektrycznych [1].

Z przeprowadzonych analiz wynika, że liczba śmiertelnych wypadków porażen prądem elektrycznym w ciągu roku, przypadająca na jeden milion mieszkańców w Polsce zmniejszyła się z 9,5 w latach 1980-1985 poprzez 6,0 w latach 1991-2004, do 3,5 w latach 2005-2009 z tendencją dalszego zmniejszania się w następnych latach. Jednak nadal liczba śmiertelnych wypadków porażen prądem elektrycznym jest w Polsce 3 - 4-krotnie większa niż w krajach Zachodniej Europy.

Liczba śmiertelnych wypadków poza statystycznym miejscem pracy, spowodowanych porażeniem prądem elektrycznym, w stosunku do ogółu śmiertelnych wypadków porażen prądem elektrycznym wynosi w Polsce około 86% (Rys. 1).



Rys. 1. Wskaźnik „W” śmiertelności w wypadkach porażen prądem elektrycznym w Polsce w latach 1987-2009 i w Republice Federalnej Niemiec w latach 1987-1998

Źródło: Opracowanie własne na podstawie elektro.info 11/2011

Fig. 1. The “W” indicator of mortality in the case of electric shocks in Poland in 1987-2009 and in the Federal Republic of Germany in the years 1987-1998

Source: Elaboration of the Authors based on elektro.info 11/2011

Wynika z tego, że niebezpieczeństwo śmiertelnych porażen prądem elektrycznym występuje przede wszystkim w mieszkaniach i budynkach mieszkalnych oraz w gospodarstwach rolniczych i ogrodniczych. Nadal najczęściej wypadków odnotowuje się na wsi, prawie dwukrotnie większy wskaźnik śmiertelnych wypadków w stosunku do wypadków w mieście.

Równie częste są przypadki powstania pożarów spowodowanych niesprawną instalacją elektryczną. Ich procentowy udział w ogólnej liczbie pożarów w budynkach, według danych za 2012 rok jest na poziomie 7%.

Zasadniczy wpływ na dużą liczbę śmiertelnych porażen prądem elektrycznym oraz pożarów w Polsce ma na ogół zły stan techniczny instalacji elektrycznych w obiektach budowlanych, w tym w mieszkaniach i budynkach mieszkalnych oraz w gospodarstwach rolniczych i ogrodniczych, a także stosowanie niedoskonałych i niewystarczających środków ochrony przed zagrożeniami w tych instalacjach.

Zagrożeniem dla odbiorcy energii elektrycznej są przede wszystkim instalacje wykonane przewodami z aluminium, materiału o słabych właściwościach fizykochemicznych: niskiej temperaturze topnienia, dużej łamliwości i skłonnościach do pokrywania się tlenkiem powodującym, że połączenia wykonane przewodami aluminiowymi mają z upływem czasu coraz większy opór, przegrzewają się zwiększając straty.

Te właściwości aluminiowych przewodów są najczęstszą przyczyną awarii instalacji: łamanie, kruszenia i upalania się końcówek przewodów, a co się z tym wiąże - uciążliwych przerw w zasilaniu odbiorników, I chociaż od ponad 15 -tu lat instalacje wykonuje się wyłącznie z miedzi, która ma wysoką temperaturę topnienia i minimalną oporność, jest metalem o dobrych własnościach mechanicznych i dużej trwałości, to problem aluminiowych instalacji w Polsce nadal jest poważny. Pomimo potencjalnych zagrożeń dla zdrowia i życia człowieka, nadal użytkuje się ten rodzaj niebezpiecznych instalacji elektrycznych [7].

Poprawę stanu bezpieczeństwa w instalacjach elektrycznych należy upatrywać:

- w poprawie jakości produkowanych i użytkowanych urządzeń elektrycznych,
- w sferze norm i przepisów elektrycznych dla nowo budowanych, przebudowywanych i modernizowanych instalacji elektrycznych,
- w coraz powszechniejszym stosowaniu w odbiorczych instalacjach elektrycznych, wysokoczułych wyłączników różnicowoprądowych,
- w ogólnej poprawie kultury technicznej i coraz większej znajomości zagrożeń związanych z niewłaściwym wykonaniem i użytkowaniem urządzeń i instalacji elektrycznych,
- w odpowiedzialności właścicieli i zarządców obiektów budowlanych za właściwe ich utrzymanie i użytkowanie zgodnie z zasadami, o których mowa w art. 5 ust.2 oraz art. 62 ust. 1-6 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane.

Przepisy ochrony przeciwporażeniowej, zawarte w normie PN-IEC 60364, są przede wszystkim odzwierciedleniem rozpoznania skutków przepływu prądu elektrycznego przez ciało ludzkie, dostępnych środków ochrony oraz warunków ekonomicznych.

W ostatnich 30 latach nastąpił znaczny postęp w rozpoznaniu skutków rażenia człowieka prądem. Prowadzone w tym zakresie badania na ludziach i zwierzętach były przedmiotem szczegółowych analiz oraz raportów Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej (IEC).

W kolejnych wydaniach raportu 479 Komisji IEC opublikowane zostały uzgodnione poglądy, dotyczące reakcji organizmu człowieka na przepływ prądu przemiennego i stałego.

## 1.2. Czynniki wpływające na stopień porażenia

### ◇ Oddziaływanie prądu na organizm ludzki

Działanie pośrednie, powstające bez przepływu prądu przez ciało człowieka, powoduje takie urazy, jak:

- oparzenia ciała wskutek pożarów wywołanych zwarcieniem elektrycznym,
- groźne dla życia oparzenia ciała łukiem elektrycznym,
- uszkodzenia wzroku wskutek dużej jaskrawości łuku elektrycznego,
- uszkodzenia mechaniczne ciała w wyniku upadku z wysokości.

### ◇ Porażenie elektryczne może objawiać się:

- odczuwaniem przepływu prądu, uczuciem bólu, lekkimi kurczami mięśni,
- silnymi kurczami mięśni dłoni uniemożliwiającymi samowolnienie się rąk,
- zatrzymaniem oddechu, zaburzeniami krążenia krwi,
- zaburzeniami wzroku, słuchu i zmysłu równowagi,
- utratą przytomności,
- migotaniem komór sercowych - bardzo groźnym dla życia człowieka,
- oparzeniami skóry i wewnętrznych części ciała.

Bezpośrednio po rażeniu prądem, tzn. po przerwaniu przepływu prądu, może wystąpić wstrząs elektryczny, objawiający się przerażeniem, białością, drżeniem ciała lub kończyn, nadmiernym wydzielaniem potu, stanem apatii lub euforii. Może również wystąpić obrzęk mózgu i utrata przytomności połączona z zatrzymaniem krążenia krwi i brakiem oddechu. Skutki te mogą się ujawnić także po pewnym czasie - od kilku minut do kilku miesięcy [2].

## 1.3. Rodzaje ochron przeciwporażeniowych

Bezpieczeństwo porażeniowe osób przebywających w pobliżu urządzeń elektrycznych lub obsługujących te urządzenia zapewnia zastosowanie różnych środków ochrony.

Zastosowane środki powinny tworzyć „system ochrony przeciwporażeniowej”, przez który należy rozumieć system współpracujących i skoordynowanych ze sobą środków ochrony oraz środków uzupełniających.

Środki ochrony przeciwporażeniowej można ogólnie podzielić na:

- środki organizacyjne,
- środki techniczne.

Środki organizacyjne ochrony stosowane w celu zapobieżenia porażeniom elektrycznym obejmują wprowadzone przez Przepisy Budowy Urządzeń Elektrycznych lub rozporządzenia wykonawcze do ustawy - Prawo energetyczne, wymagania dotyczące kwalifikacji osób zatrudnionych przy eksploatacji urządzeń energetycznych oraz wymagania dotyczące organizacji i wykonywania prac związanych z eksploatacją, konserwacją, naprawą oraz z badaniami odbiorczymi i okresowymi eksploatacyjnymi urządzeń elektrycznych.

Organizacyjne środki ochrony obejmują różne działania nietechniczne typu organizacyjnego, których celem jest zapoznanie szerokiego kręgu użytkowników energii elektrycznej z potencjalnymi zagrożeniami ze strony tej energii, minimalizacja możliwości kontaktu człowieka z napięciem oraz minimalizacja skutków wypadków elektrycznych [3].

Do działań typu organizacyjnego mających na celu zmniejszenie ryzyka zagrożeń elektrycznych należą:

- popularyzacja zasad prawidłowego użytkowania urządzeń elektrycznych,
- nauczanie zasad udzielania pierwszej pomocy porażonym i poparzonym prądem elektrycznym,
- stosowanie środków propagandy wizualnej w postaci plansz i plakatów popularyzujących zasady bezpiecznego użytkowania urządzeń elektrycznych,
- obowiązkowe szkolenie okresowe pracowników zaliczanych do grupy wzmożonego ryzyka porażeniem prądem, głównie elektryków,
- ustawowy wymóg posiadania uprawnień kwalifikacyjnych przez osoby zatrudnione przy eksploatacji urządzeń i instalacji energetycznych,
- przestrzeganie zasad i przepisów bezpieczeństwa pracy dotyczących organizacji prac przy urządzeniach elektrycznych, w tym zwłaszcza stosowania modelu obejmującego 5 podstawowych (złoty) reguł bezpieczeństwa:

**wyłączyć - zablokować - sprawdzić - uziemić - wygradzić**

Środki techniczne stanowiące właściwą ochronę przeciwporażeniową obejmują w zasadzie środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim (ochrony podstawowej) stanowiące zabezpieczenie przed porażeniami od napięć roboczych (fazowych) oraz środki ochrony przy dotyku pośrednim (ochrony przy uszkodzeniu) zabezpieczające przed porażeniami od napięć dotykowych.

W zakresie urządzeń i sieci do 1 kV zmieniające się na przestrzeni ostatnich lat przepisy w zakresie ochrony przeciwporażeniowej przewidywały ponadto środki ochrony obostrzonej wymagane w warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniowego i środki ochrony uzupełniającej stosowane dla eliminacji zagrożeń, przed którymi nie chronią tradycyjne środki ochrony przeciwporażeniowej.

Do technicznych środków ochrony zaliczyć należy również środki ochrony osobistej (sprzęt ochronny) mające zastosowanie głównie przy pracach konserwacyjno-remontowych, operacjach łączeniowych i czynnościach pomiarowych [5].

## 2. Środki ochrony przeciwporażeniowej

Polska norma PN-HD-60364-4-41:2007 przewiduje 3 rodzaje ochron przeciwporażeniowych (Rys. 4):

- równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim,
- ochrona przed dotykiem bezpośrednim (Rys. 2),
- ochrona przy dotyku pośrednim (Rys. 3).

### 2.1. Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim

Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim polega na zastosowaniu jednego z następujących środków (Rys. 2-3):

- bardzo niskiego napięcia bezpiecznego SELV (*ang. Safety Extra-Low Voltage*)
- bardzo niskiego napięcia ochronnego PELV (*ang. Protective Extra-Low Voltage*),
- bardzo niskiego napięcia funkcjonalnego FELV (*ang. Functional Extra-Low Voltage*).

W obwodach SELV instalacja jest całkowicie oddzielona od ziemi i od innych instalacji.



Rys. 2. Zagrożenie przy dotyku pośrednim  
 Źródło: Poradnik Techniczny 2008/2009 LEGRAND, s. 54  
 Fig. 2. Threat with indirect contact  
 Source: Technical Guide 2008/2009 LEGRAND, p. 54



Rys. 3. Zagrożenie przy dotyku bezpośrednim  
 Źródło: Poradnik Techniczny 2008/2009 LEGRAND, s. 54  
 Fig. 3. Threat with direct contact  
 Source: Technical Guide 2008/2009 LEGRAND, p. 54

W obwodach PELV określone części czynne mogą być połączone z uziomem ze względu na wymagania technologiczne. Ochronne obniżenie napięcia roboczego do wartości bardzo niskiego napięcia bezpiecznego stanowi najskuteczniejszy, lecz w praktyce ze względów technologicznych rzadko stosowany sposób ochrony (Tab. 1), (Rys. 4) [2].

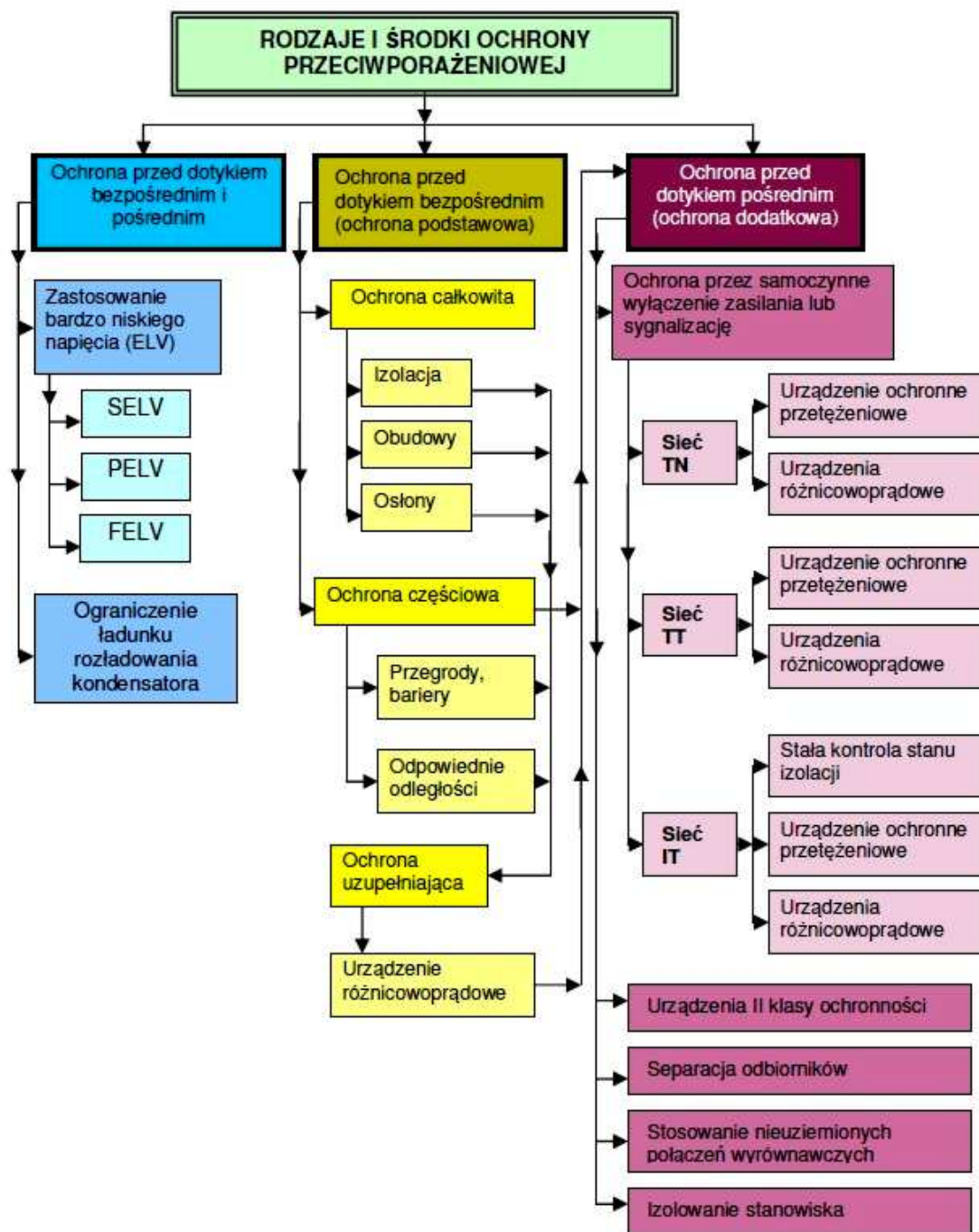
Tabela 1. Wartości napięć bezpiecznych  $U_L$   
 Table 1. Values of safe voltages  $U_L$

Rodzaj prądu	Napięcie bezpieczne dla warunków środowiskowych		
	normalnych	szczególnego zagrożenia	ekstremalnego zagrożenia (zanurzenie w wodzie)
przemienny	50 [V~]	25 [V~]	12 [V~]
stały (nietętniący)	120 [V-]	60 [V-]	30 [V-]

Źródło: Opracowanie własne na podstawie PN-HD 60364-4-41:2009  
 Source: Elaboration of the Authors based on PN-HD 60364-4-41:2009

Jako źródło bardzo niskiego napięcia bezpiecznego mogą być stosowane:

- transformatory ochronne,
- przetwornice ochronne,
- źródła elektroniczne,
- źródła elektrochemiczne (baterie akumulatorów),
- zespoły prądotwórcze napędzane silnikiem spalinowym.



Rys. 4. Rodzaje i środki ochrony przeciwporażeniowej  
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie PN-HD 60364-4-41:2009  
 Fig. 4. Types and means of protection against electric shock  
 Source: Elaboration of the Authors based on PN-HD 60364-4-41:2009

Wykonanie instalacji na napięcie bezpieczne wymaga spełnienia licznych warunków dotyczących właściwego doboru źródeł zasilania, układania przewodów instalacji oraz budowy i użytkowania instalacji.

W szczególności transformatory i przetwornice stanowiące źródło zasilania obwodów bardzo niskiego napięcia bezpiecznego powinny spełniać wymagania II klasy ochronności, czyli pewnego oddzielenia elektrycznego obwodu pierwotnego od obwodu wtórnego.

Układy FELV są to układy zasilane napięciem nie przekraczającym wartości bardzo niskich napięć bezpiecznych, które jednakże nie spełniają wszystkich warunków zapewniają-



cych, że nie pojawią się w nich napięcia wyższe od bezpiecznego, a odnoszących się zarówno do źródeł zasilania, elementów instalacji i sposobu jej układania oraz do budowy odbiorników. Obwody te nie mogą być traktowane jako w pełni bezpieczne i wymagają ochrony takiej, jaka jest zastosowana w ich obwodach zasilających.

Jeżeli napięcie znamionowe instalacji nie przekracza 25 V dla prądu przemiennego lub 60 V dla prądu stałego to nie jest potrzebna ochrona przed dotykiem bezpośrednim, o ile nie występują żadne szczególne warunki środowiskowe, tzn. urządzenie jest użytkowane w miejscach suchych oraz nie przewiduje się wielkopowierzchniowych dotyków ciała ludzkiego [6].

## 2.2. Ochrona przed dotykiem bezpośrednim

Ochrona podstawowa polega na zastosowaniu jednego z następujących środków:

- izolowania części czynnych,
- użycia ogrodzeń (przegród) lub obudów (osłon),
- użycia barier (przeszkód),
- umieszczenia poza zasięgiem ręki,
- uzupełnienia ochrony przy użyciu wysokoczułych urządzeń ochronnych różnicowoprądowych.

Izolowanie części czynnych polega na pokryciu izolacją części obwodu elektrycznego, które znajdują się pod napięciem w normalnych warunkach pracy. Izolacja ta powinna wytrzymywać obciążenia mechaniczne, chemiczne i termiczne, na jakie może być narażona w warunkach eksploatacji.

Ogrodzenia lub obudowy powinny zapewniać dla znajdujących się wewnątrz części czynnych stopień ochrony co najmniej IP2X. Ogrodzenia i obudowy powinny być trwale zamocowane, a usunięcie ich powinno być możliwe jedynie przy użyciu narzędzi lub po wyłączeniu napięcia z części czynnych znajdujących się wewnątrz nich.

Bariery (przeszkody) mają za zadanie uniemożliwienie przypadkowemu dotknięciu części czynnych, natomiast nie chroni przed rozmyślnym działaniem. Bariery mogą być usuwane bez użycia narzędzi, jednak muszą być zabezpieczone przed niezamierzonym usunięciem. Zwykle stosowane są w pomieszczeniach ruchu elektrycznego.

Umieszczenie poza zasięgiem ręki podobnie jak bariery, chroni przed przypadkowym dotknięciem, a nie przed rozmyślnym działaniem.

Stosowanie urządzeń ochronnych różnicowoprądowych o prądzie wyzwalającym  $I_{\Delta n}$  nie większym od 30 mA uważane jest za uzupełnienie ochrony, zarówno w przypadku nieskuteczności innych środków ochrony przed dotykiem bezpośrednim, jak i w przypadku nieostrożności użytkowników. Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe lub wyłączniki współpracujące z przekaźnikami różnicowoprądowymi nie mogą być jedynym środkiem ochrony.

## 2.3. Ochrona przy dotyku pośrednim

Ochrona przy dotyku pośrednim polega na zastosowaniu jednego z następujących środków:

- samoczynnego wyłączenia zasilania,
- urządzeń II klasy ochronności lub o izolacji równoważnej,
- izolowania stanowiska,
- separacji elektrycznej,
- nieziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych.



Samoczynne wyłączenie zasilania powinno zapewniać szybkie wyłączenie spodziewanego napięcia dotykowego przekraczającego napięcie bezpieczne, aby nie wystąpiły żadne niebezpieczne skutki patofizjologiczne w przypadku zwarcia pomiędzy częścią czynną a częścią przewodzącą dostępną lub przewodem ochronnym obwodu. Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania polega na utworzeniu pętli zwarciovych poprzez przewody ochronne łączące dostępne części przewodzące z punktem neutralnym sieci lub z ziemią (w zależności od układu sieci) oraz zastosowaniu urządzeń ochronnych zapewniających wyłączenie w odpowiednim, wymaganym przepisami czasie.

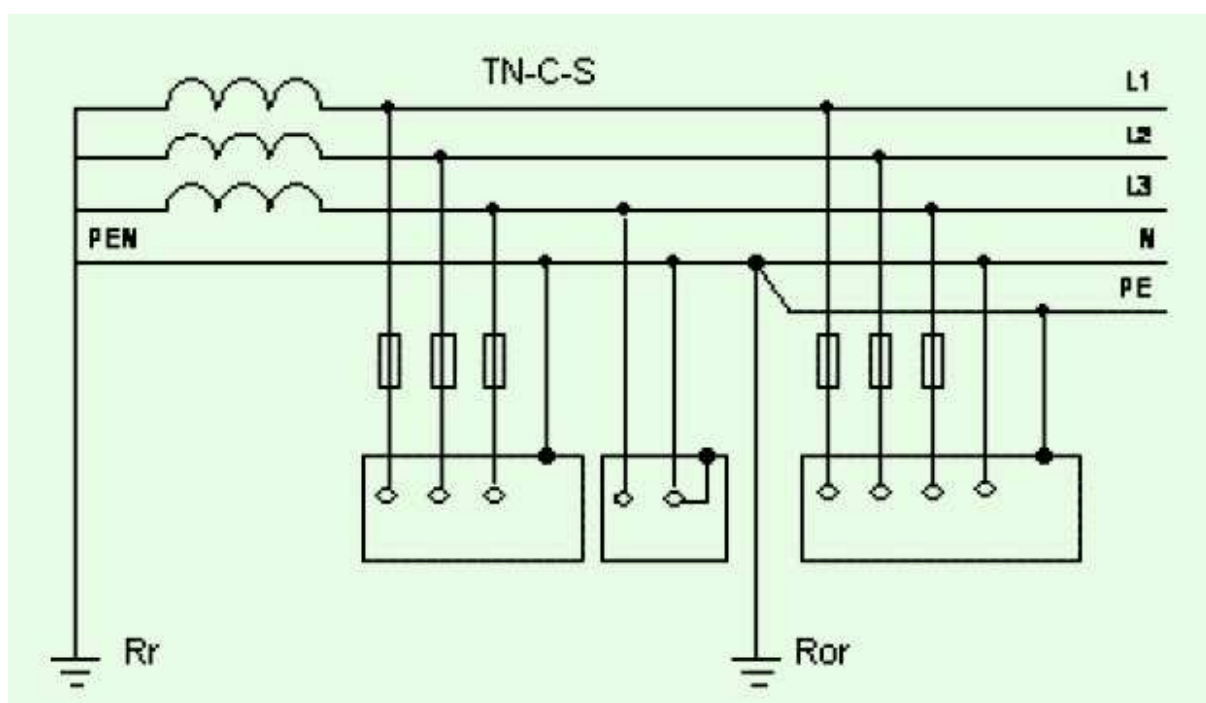
Jako urządzenia ochronne powodujące wyłączenie odbiornika lub obwodu mogą być zastosowane:

- urządzenia przetężeniowe (nadmiaroprądowe), do których należą wyłączniki z wyzwalaczami nadprądowymi lub przekaźnikami nadprądowymi oraz bezpieczniki z wkładkami topikowymi,
- urządzenia ochronne różnicowoprądowe, do których należą wyłączniki różnicowoprądowe i wyłączniki współpracujące z przekaźnikami różnicowoprądowymi.

Samoczynne szybkie wyłączenie zasilania jest najczęściej stosowanym i najpewniejszym środkiem ochrony dodatkowej stosowanym w układach sieciowych TN, TT oraz IT [6].

#### 2.4. Ochrona w układzie TN

W układach sieciowych TN ochronę przez samoczynne wyłączenie zasilania uzyskuje się poprzez połączenie części przewodzących dostępnych z przewodem ochronnym PE lub przewodem ochronno-neutralnym PEN, co przy zwarciu części czynnych powoduje przepływ prądu zwarciovego do dostępnych części przewodzących i samoczynne odłączenie odbiornika od zasilania (Rys. 5).



Rys. 5. Przykład sieci elektrycznej o układzie mieszanym TN-C-S

Źródło: Opracowanie własne na podstawie „ABC Elektryka”, 2017

Fig. 5. An example of an electric network with a mixed system TN-C-S

Source: Elaboration of the Authors based on “ABC Elektryka”, 2017

Maksymalne czasy wyłączenia w układzie TN w zależności od napięcia fazowego oraz od warunków środowiskowych podano w tabeli 2.

Tabela 2. Maksymalny czas wyłączenia w układzie TN  
Table 2. The maximum switch-off time in the TN system

Napięcie względem ziemi $U_0$ [V]	Maksymalny czas wyłączenia w [s] dla warunków środowiskowych	
	normalnych $UL \leq 50$ [V~], $UL \leq 120$ [V-]	szczególnych $UL \leq 25$ [V~], $UL \leq 60$ [V-]
120	0,8	0,35
230	0,4	0,20
277	0,4	0,20
400	0,2	0,05
480	0,1	0,05
580	0,1	0,02

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: *elektro.info* 9/2009  
Source: Elaboration of the Authors based on: *elektro.info* 9/2009

Warunek samoczynnego wyłączenia zasilania zostanie spełniony jeżeli:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0, \quad (1)$$

gdzie  $Z_s$  - impedancja pętli zwarciowej w [ $\Omega$ ],  $I_a$  - prąd w [A] powodujący samoczynne zadziałanie urządzenia zabezpieczającego w określonym w czasie,  $U_0$  - napięcie znamionowe względem ziemi w [V].

Czas odłączenia napięcia dłuższy od podanego w tab. 2, ale nie przekraczający 5 s dopuszcza się:


- w sieciach rozdzielczych i wewnętrznych liniach zasilających,
- w obwodach odbiorczych, do których przyłączone są jedynie odbiorniki stacjonarne i stałe.

Przepisy określają warunki niezbędne do spełnienia, gdy z rozdzielnicy zasilane są odbiorniki, dla których wymagany jest różny czas wyłączenia, odnoszący się do ograniczenia impedancji przewodu ochronnego oraz do stosowania połączeń wyrównawczych miejscowych.


Prąd  $I_a$  zapewniający samoczynne zadziałanie urządzenia zabezpieczającego powinien być wyznaczony na podstawie ich charakterystyk czasowo-prądowych. Jeżeli urządzeniem ochronnym jest urządzenie ochronne różnicowoprądowe, prąd  $I_a$  jest znamionowym prądem wyzwalającym  $I_{\Delta n}$  [7].

## 2.5. Ochrona przez zastosowanie urządzenia II klasy ochronności lub o izolacji równoważnej

Ten rodzaj ochrony ma na celu zapobieżenie pojawieniu się niebezpiecznego napięcia na częściach przewodzących dostępnych urządzeń elektrycznych w przypadku uszkodzenia izolacji podstawowej. Istota tego środka ochrony polega na ograniczeniu do minimum możliwości porażenia poprzez zastosowanie izolacji podwójnej lub izolacji wzmocnionej albo równoważnej obudowy izolacyjnej.

Urządzenia II klasy ochronności oznaczone symbolem  są rozpowszechnionym środkiem ochrony dodatkowej, zwłaszcza w odniesieniu do przyrządów ręcznych i ruchomych (elektronarzędzia i sprzęt gospodarstwa domowego).

Mogą być stosowane we wszystkich warunkach środowiskowych.

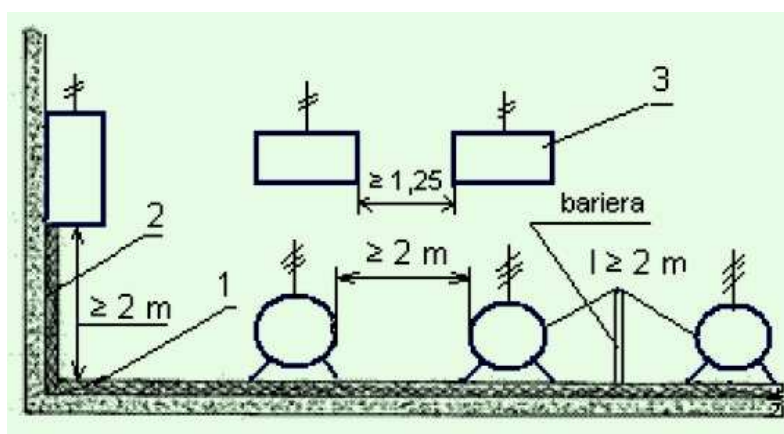
Obudowy izolacyjne urządzeń powinny mieć stopień ochrony co najmniej IP2X i być odporne na spodziewane obciążenia mechaniczne, elektryczne i termiczne. W widocznych miejscach wewnątrz i na zewnątrz obudowy powinien być umieszczony symbol  oznaczający zakaz przyłączania przewodu ochronnego.

## 2.6. Izolowanie stanowiska

Ten środek ochrony ma na celu zapobieżenie równoczesnemu dotknięciu części, które mogą mieć różny potencjał w wyniku uszkodzenia izolacji podstawowej części czynnych (Rys. 6).

Dopuszcza się stosowanie urządzeń klasy 0, jeżeli są spełnione wszystkie poniższe warunki:

- ściany i podłogi stanowiska powinny być wykonane z materiałów izolacyjnych w taki sposób, aby ich rezystancja nie była mniejsza niż 50 kΩ dla instalacji o napięciu znamionowym do 500 V, oraz 100 kΩ przy napięciu powyżej 500 V,
- części przewodzące dostępne powinny być oddalone od siebie i od części przewodzących obcych na odległość nie mniejsza niż 2 m, odległość ta może wynosić 1,25 m, jeżeli urządzenia znajdują się poza strefą zasięgu ręki, albo
- zostały umieszczone skuteczne bariery między częściami przewodzącymi dostępnymi a częściami przewodzącymi obcymi zwiększającymi odległość między tymi częściami do 2 m. Bariery tych nie należy przyłączać do ziemi ani do części przewodzących dostępnych; w miarę możliwości powinny być one wykonane z materiałów izolacyjnych, albo
- izolowanie lub zastosowanie środków izolujących części przewodzące obce od ziemi, w sposób zapewniający dostateczną wytrzymałość mechaniczną i wytrzymać próbę napięciem o wartości 2000 V. Prąd upływu w normalnych warunkach nie powinien przekraczać 1 mA.
- Do stanowiska izolowanego nie wolno doprowadzać z zewnątrz żadnych uziemionych przedmiotów ani przewodów ochronnych. Ten sposób ochrony wymaga szczególnie skutecznego nadzoru eksploatacyjnego nad instalacjami.



Rys. 6. Ochrona przez zastosowanie izolowania stanowiska: 1 - izolacja podłogi, 2 - izolacja ścian, 3 - urządzenia elektryczne zainstalowane poza zasięgiem ręki

Źródło: Opracowanie własne PN-HD 60364-4-41

Fig. 6. Protection through the use of stand insulation: 1 - floor insulation, 2 - wall insulation, 3 - electrical devices installed out of hand reach

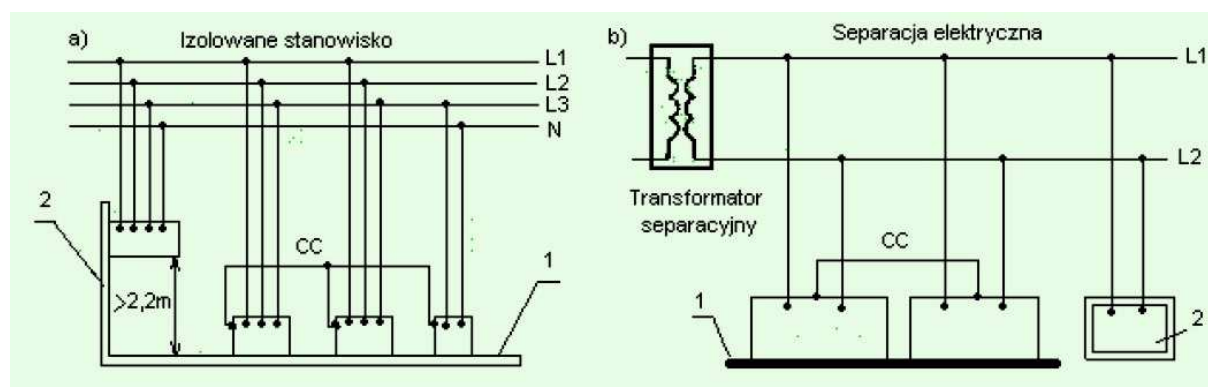
Source: Elaboration of the Authors based on PN-HD 60364-4-41

Rezystancja podłóg i ścian w każdym punkcie pomiarowym nie powinna być mniejsza niż:

- 50 kΩ, jeżeli napięcie znamionowe instalacji nie przekracza 500 V,
- 100 kΩ, jeżeli napięcie znamionowe instalacji przekracza 500 V.

## 2.7. Nieziemione połączenia wyrównawcze miejscowe

Nieziemione połączenia wyrównawcze mają na celu zapobieżenie pojawieniu się niebezpiecznych napięć dotykowych. Istota tej ochrony polega na łączeniu między sobą wszystkich części przewodzących jednocześnie dostępnych oraz części przewodzących obcych za pomocą nieziemionych miejscowych połączeń wyrównawczych (Rys. 7).



Rys. 7. Nieziemione połączenia wyrównawcze CC: a) izolowane stanowisko; CC – nieziemiony przewód wyrównawczy miejscowy, 1 - podłoga izolowana, 2 - ściany izolowane; b) separacja elektryczna dwóch urządzeń elektrycznych od sieci zasilającej; 1 - izolowane podłoże, 2 - urządzenie elektryczne II klasy ochronności

Źródło: Opracowanie własne na podstawie PN-HD 60364-4-41

Fig. 7. Non-earthed CC balance connections: a) an isolated post; CC - non-earthed local equalizing conduit, 1 - insulated floor, 2 - insulated walls; b) electrical separation of two electrical devices from the power supply network; 1 - insulated substrate, 2 - electrical device II protection class

Source: Elaboration of the Authors based on PN-HD 60364-4-41

System nieziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych nie powinien mieć połączenia elektrycznego z ziemią przez części przewodzące dostępne lub przez części przewodzące obce. Rezystancja połączeń wyrównawczych powinna być tak dobrana, aby największy spodziewany prąd nie powodujący samoczynnego wyłączenia zasilania, wywoływał na niej spadek napięcia nie przekraczający dopuszczalnej w danych warunkach środowiskowych wartości napięcia dotykowego bezpiecznego:

$$I \cdot R \leq U_L, \quad (2)$$

gdzie  $I$  - największy spodziewany prąd nie powodujący samoczynnego wyłączenia w [A],  $R$  - rezystancja połączenia wyrównawczego w [Ω],  $U_L$  - napięcie bezpieczne ( $\leq 50$  V).

Należy przewidzieć środki ostrożności zapobiegające narażeniu na niebezpieczną różnicę potencjałów osób wchodzących do przestrzeni z połączeniami wyrównawczymi miejscowymi, szczególnie w przypadku, gdy przewodząca podłoga izolowana od ziemi jest połączona z nieziemionym systemem połączeń wyrównawczych [4].

## 2.8. Separacja elektryczna

Ochrona przy dotyku pośrednim za pomocą separacji elektrycznej polega na elektrycznym oddzieleniu obwodu zasilającego od obwodu chronionego, za pomocą transformatora separacyjnego o przekładni 1:1 lub przetwornicy separacyjnej, wykonanych w drugiej klasie ochronności.

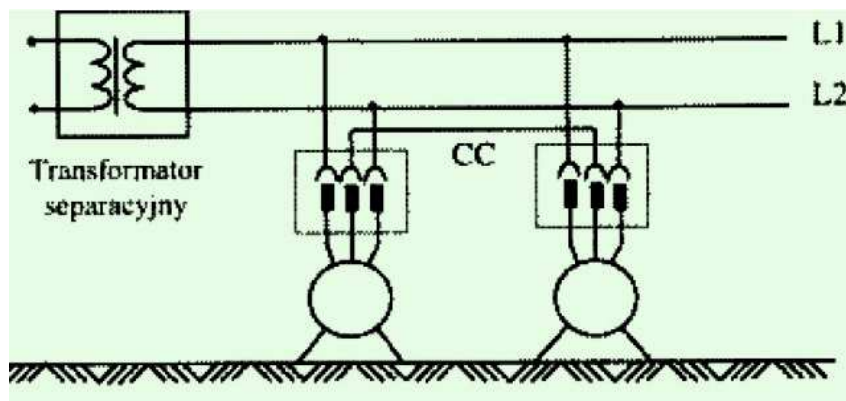
Ten rodzaj ochrony ma na celu zabezpieczenie obwodu separowanego przed prądem rażeniowym przy dotyku do części przewodzących dostępnych, które mogą znaleźć się pod napięciem w wyniku uszkodzenia izolacji podstawowej urządzenia.

Separacja elektryczna jest najskuteczniejsza przy zasilaniu tylko pojedynczego odbiornika. Części czynne obwodu separowanego nie powinny być połączone w żadnym punkcie z innym obwodem lub z ziemią.

Zaleca się, aby w obwodzie separowanym iloczyn napięcia znamionowego w woltach i łącznej długości przewodów w metrach nie przekraczał 100 000, aby łączna długość przewodów łączących nie przekraczała 500 m a napięcie obwodu separowanego nie powinno przekroczyć 500 V. Czyli:

$$U \cdot L \leq 1000000[\text{Vm}]. \quad (3)$$

Jeżeli z obwodu separowanego jest zasilanych jest więcej niż jedno urządzenie (Rys. 7 i 8), to ich części przewodzące dostępne powinny być połączone nieziemionymi przewodami wyrównawczymi.



Rys. 8. Przykład separacji elektrycznej dwóch urządzeń elektrycznych od sieci zasilającej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie PN-HD 60364-4-41

Fig. 8. An example of electrical separation of two electrical devices from the power supply network

Source: Elaboration of the Authors based on PN-HD 60364-4-41

Wszystkie gniazda wtyczkowe powinny mieć styki ochronne przyłączone do systemu nieziemionych połączeń wyrównawczych, natomiast stosowane przewody giętkie z wyjątkiem tych, które zasilają urządzenia II klasy ochronności, powinny mieć żyłę ochronną do połączenia wyrównawczego.

### 3. Warunki środowiskowe

#### 3.1. Rodzaje warunków środowiskowych

W wieloarkuszowej normie PN-IEC 60364-3:2000 przyjęto zasadę, że postanowienia normy dotyczą normalnych warunków środowiskowych i rozwiązań instalacji elektrycznych, natomiast w warunkach środowiskowych stwarzających zwiększone zagrożenie wprowadza się odpowiednie obostrzenia i stosuje się specjalne rozwiązania instalacji elektrycznych.

Poszczególne rodzaje warunków środowiskowych zostały usystematyzowane i oznaczone za pomocą kodu literowo-cyfrowego. O doborze środków ochrony przeciwporażeniowej, w praktyce decydują następujące warunki środowiskowe:

- BA - zdolność osób,
- BB - elektryczna rezystancja ciała ludzkiego,
- BC - kontakt ludzi z potencjałem ziemi.

Doboru środków ochrony przeciwporażeniowej dla normalnych warunków środowiskowych należy dokonywać w oparciu o arkusz 41. Obostrzenia i specjalne rozwiązania instalacji elektrycznych obejmują arkusze normy grupy 700.

Obostrzenia te polegają głównie na:

- zakazie umieszczania urządzeń elektrycznych w odpowiednich miejscach (strefach),
- zakazie stosowania niektórych środków ochrony; np. barier, umieszczania poza zasięgiem ręki, izolowania stanowiska, nieuziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych,
- stosowaniu urządzeń o odpowiednich stopniach ochrony,
- konieczności stosowania dodatkowych (miejscowych) połączeń wyrównawczych,
- konieczności obniżenia napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale w określonych warunkach otoczenia do wartości 25 V i 12 V prądu przemiennego oraz odpowiednio 60 V i 30 V prądu stałego,
- konieczności stosowania urządzeń ochronnych różnicowoprądowych o znamionowym prądzie różnicowym nie większym niż 30 mA jako uzupełniającego środka ochrony przed dotykiem bezpośrednim (ochrony podstawowej),
- kontroli stanu izolacji (doziemienia) w układach sieci IT [6].

#### 3.2. Stopnie ochrony

Stopnie ochrony obudów urządzeń elektrycznych są oznaczone kodem IP (*ang. International Protection*) w następujący sposób: IP X0, IP 0X lub IP XX (Tab. 3), gdzie:

- IP (International Protection) - oznaczenie literowe
- pierwsza charakterystyczna cyfra (cyfry od 0 do 6 lub litera X) - określa stopień ochrony przed przedostaniem się obcych ciał stałych do wnętrza obudów urządzeń elektrycznych i dostępem do części pod napięciem lub części będących w ruchu,
- druga charakterystyczna cyfra (cyfry od 0 do 8 lub litera X) - określa stopień ochrony przed przedostawaniem się wody do wnętrza obudów urządzeń elektrycznych. Np. IP22 - takie oznaczenie dotyczy obudowy:
- pierwsza cyfra 2 - oznacza ochronę urządzenia przed przedostawaniem ciał stałych średnicy 12,5 mm i większej do wnętrza obudowy,

- druga cyfra 2 - oznacza ochronę urządzenia przed przedostawaniem się spadających strug wody do wnętrza obudowy.

Tabela 3. Stopnie ochrony zapewniane przez obudowy urządzeń elektrycznych  
Table 3. Degrees of protection provided by electrical equipment enclosures

Ochrona przed dotknięciem do części czynnych i przed przedostawaniem się ciał obcych o średnicy $d >$ <b>Pierwsza cyfra</b>							Ochrona przed przedostawaniem się wody <b>Druga cyfra</b>	
Brak ochrony	ręka 50 mm	palcem 12,5 mm	narzędziem 2,5 mm	drutem 1 mm	pyło- odporna    szczelna			
IP0X	IP1X	IP2X	IP3X	IP4X	IP5X	IP6X		
IP00	IP10	IP20	IP30	IP40	IP50	IP60	IPX0	brak ochrony
IP01	IP11	IP21	IP31	IP41			IPX1	spadające krople
IP02	IP12	IP22	IP32	IP42			IPX2	spadające strugi wody
IP03		IP23	IP33	IP43			IPX3	deszcz
			IP34	IP44	IP54		IPX4	rozbryzgi
					IP55	IP65	IPX5	strumienie
						IP66	IPX6	fale
					IP57	IP67	IPX7	zanurzenie $\leq 1m$
						IP68	IPX8	zanurzenie $> 1m$
Kod IP oznaczony czerwonym drukiem – osłony do pomieszczeń wilgotnych								
Kod IP napisany kursywą – osłony do pomieszczeń mokrych								

Źródło: Opracowanie własne na podstawie PN-EN 60 529

Source: Elaboration of the Authors based on PN-EN 60 529

### 3.3. Klasy ochronności urządzeń elektrycznych

Urządzenia elektryczne ze względu na zastosowany środek ochrony przeciwporażeniowej dzieli się na cztery klasy ochronności : 0, I, II i III (Tab. 4).

W urządzeniach klasy ochronności I ochronę realizuje się poprzez połączenie przewodów PE lub PEN z zaciskami ochronnymi, przez co następuje:

- szybkie zadziałanie zabezpieczeń przetężeniowych i wyłączenie zasilania, albo
- ograniczenie napięć dotykowych do wartości uznanych za bezpieczne.

W urządzeniach klasy ochronności II ochrona jest zapewniona przez fabryczne zastosowanie izolacji podwójnej lub wzmocnionej. W urządzeniach klasy ochronności III, ochrona przeciwporażeniowa jest zapewniona przez zasilanie ich bardzo niskim napięciem (SELV lub PELV), mieszczącym się w zakresie napięcia bezpiecznego.

W urządzeniach klasy ochronności 0 ochronę przed porażeniem stanowi w zasadzie tylko izolacja podstawowa. Brak zacisku ochronnego [7].



Tabela 4. Klasy ochronności urządzeń elektrycznych  
Table 4. Protection classes of electrical devices

Klasa ochronności	Cechy charakterystyczne Izolacja	Warunki stosowania	Przykłady urządzeń
0	Zastosowanie jedynie izolacji podstawowej, brak zacisku ochronnego	Środowisko bez uziemionych mas, zastosowanie izolowania stanowiska. <i>Zasilanie przez transformator separacyjny tylko jednego urządzenia.</i>	Żyrandole, plafoniery, elektryczne tarcze szlifierskie
I	Zastosowanie jedynie izolacji podstawowej, wyposażenie w zacisk ochronny do połączenia części przewodzących z przewodem ochronnym układu sieciowego	Przyłączenie do przewodu ochronnego zapewniające: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ szybkie wyłączenie zasilania,</li> <li>➤ ograniczenie napięcia dotykowego do wartości bezpiecznej</li> </ul> <i>W szczególnych warunkach środowiskowych zastosowanie:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ połączeń wyrównawczych,</li> <li>➤ dodatkowych (miejscowych) lub</li> <li>➤ zastosowanie urządzenia ochronnego różnicowo-prądowego o prądzie zadziałania nie większym niż 30 mA</li> </ul>	Chłodziarki, zamrażarki, pralki, termy, silniki rozdzielnic
II	Zastosowanie izolacji podwójnej lub wzmocnionej, stanowiącej fabryczny element urządzenia	Stosowanie we wszystkich warunkach, o ile szczegółowe postanowienia dotyczące określonych miejsc i pomieszczeń nie stanowią inaczej	Odpowiednio oznakowane wiertarki, lampy biurowe, transformatory ochronne
III	Zasilanie urządzenia jedynie za pomocą bardzo niskiego napięcia ochronnego SELV lub bardzo niskiego napięcia bezpiecznego PELV	Stosowanie we wszystkich warunkach	Przenośne lampy, oświetlenie, wiertarki

Źródło: Opracowanie własne na podstawie PN-HD 60364-4-41:2009

Source: Elaboration of the Authors based on PN-HD 60364-4-41:2009

#### 4. Wnioski

- Skuteczność ochrony przeciwporażeniowej zależy od zastosowanych, w instalacjach elektrycznych, rozwiązań i środków technicznych. Miarą skuteczności ochrony przeciwporażeniowej jest liczba śmiertelnych wypadków porażen prądem elektrycznym oraz liczba pożarów, będących następstwem wad lub nieprawidłowej eksploatacji instalacji elektrycznych.
- Zasadniczy wpływ na dużą liczbę śmiertelnych porażen prądem elektrycznym oraz pożarów w Polsce ma na ogół zły stan techniczny instalacji elektrycznych w obiektach budowlanych, w tym w mieszkaniach i budynkach mieszkalnych oraz w gospodarstwach rolniczych i ogrodniczych.
- Zagroženiem dla odbiorcy energii elektrycznej są przede wszystkim instalacje wykonane przewodami z aluminium, materiału o słabych właściwościach fizykochemicznych: niskiej temperaturze topnienia, dużej łamliwości i skłonnościach do pokrywania się tlenkiem powodującym, że połączenia wykonane przewodami aluminiowymi mają z upływem czasu coraz większy opór, przegrzewają się zwiększając straty.
- Przepisy ochrony przeciwporażeniowej, zawarte w normie PN-IEC 60364, są przede wszystkim odzwierciedleniem rozpoznania skutków przepływu prądu elektrycznego przez ciało ludzkie, dostępnych środków ochrony oraz warunków ekonomicznych.
- Przestrzeganie zasad i przepisów bezpieczeństwa pracy dotyczących organizacji prac przy urządzeniach elektrycznych, w tym zwłaszcza stosowania modelu obejmuje 5 podstawowych (złoty) reguł bezpieczeństwa: wyłączyć - zablokować - sprawdzić - uziemić - wygradzić.
- Stosowanie urządzeń ochronnych różnicowoprądowych o prądzie wyzwalającym nie większym od 30 mA uważane jest za uzupełnienie ochrony, zarówno w przypadku nieskuteczności innych środków ochrony przed dotykiem bezpośrednim, jak i w przypadku nieostrożności użytkowników. Wyłączniki ochronne różnicowoprądowe lub wyłączniki współpracujące z przekaźnikami różnicowoprądowymi nie mogą być jedynym środkiem ochrony.
- Samoczynne szybkie wyłączenie zasilania jest najczęściej stosowanym i najpewniejszym środkiem ochrony dodatkowej stosowanym w układach sieciowych TN, TT oraz IT.
- Obudowy izolacyjne urządzeń powinny mieć stopień ochrony co najmniej IP2X i być odporne na spodziewane obciążenia mechaniczne, elektryczne i termiczne.
- System nieuziemionych połączeń wyrównawczych miejscowych nie powinien mieć połączenia elektrycznego z ziemią przez części przewodzące dostępne lub przez części przewodzące obce.
- Rezystancja połączeń wyrównawczych powinna być tak dobrana, aby największy spodziewany prąd nie powodujący samoczynnego wyłączenia zasilania, wywoływał na niej spadek napięcia nie przekraczający dopuszczalnej w danych warunkach środowiskowych wartości napięcia dotykowego bezpiecznego.
- Separacja elektryczna jest najskuteczniejsza przy zasilaniu tylko pojedynczego odbiornika. Części czynne obwodu separowanego nie powinny być połączone w żadnym punkcie z innym obwodem lub z ziemią.
- Wszystkie gniazda wtyczkowe powinny mieć styki ochronne przyłączone do systemu nieuziemionych połączeń wyrównawczych, natomiast stosowane przewody giętkie z wyjątkiem tych, które zasilają urządzenia II klasy ochronności, powinny mieć żyłę ochronną do połączenia wyrównawczego.

## Literatura

- [1] Boczkowski A.: *Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach*. Wyd. Wiedza i Praktyka, 2018.
- [2] Kołodziejczyk Sł.: *Instalacje elektryczne*. Wyd. Komunikacji i Łączności WKŁ, 2016.
- [3] *Ochrona przeciwpożarowa i przeciwporażeniowa w instalacjach elektrycznych. Niezbędnik elektryka*. Wyd. Medium Grupa, 2012.
- [4] *Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach i urządzeniach elektrycznych do 1kV. Komentarz*. Wyd. Stowarzyszenie Elektryków Polskich. Zakład Szkolenia, Warszawa 1970.
- [5] *Podręcznik dla elektryków. Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach wysokiego napięcia*. INPE Zeszyt 5, SEP Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw, Warszawa 2005.
- [6] Pytlak A., Świątek H.: *Ochrona przeciwporażeniowa w układach energoelektronicznych*. SEP Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw, Warszawa 2005.
- [7] Wiatr J., Boczkowski A., Orzechowski M.: *Ochrona przeciwporażeniowa oraz dobór przewodów i ich zabezpieczeń w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia - Zeszyty dla elektryków Nr 8*. Wyd. Medium Grupa, 2017.