

Hubert Karski

Zagrożenia człowieka w środowisku pracy. Energia elektryczna i elektryczność statyczna

Materiały dydaktyczne dla słuchaczy Studiów
Podyplomowych dla Nauczycieli Przedmiotów Zawodowych

Warszawa 2011



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Politechnika Warszawska
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Studia Podyplomowe dla Nauczycieli Przedmiotów Zawodowych
02-524 Warszawa, ul. Narbutta 84, tel 22 849 43 07, 22 234 83 48
ipbmv.r.simr.pw.edu.pl/spin/, e-mail: sto@simr.pw.edu.pl

Projekt okładki: Norbert SKUMIAŁ, Stefan TOMASZEK
Projekt układu graficznego tekstu: Grzegorz LINKIEWICZ
Skład tekstu: Janusz BONAROWSKI

Publikacja bezpłatna, przeznaczona dla słuchaczy Studiów Podyplomowych dla Nauczycieli Przedmiotów Zawodowych Kier. . Bezpieczeństwo i ochrona człowieka w środowisku pracy i ergonomia”

Copyright © Politechnika Warszawska, 2011.

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

Spis treści

1. Wprowadzenie

2. Elektryczność: postawy, wielkości i ich jednostki, zastosowanie

2.1. Podstawy

2.2. Urządzenia elektroenergetyczne

2.1. Podstawy

3. Zasady budowy i eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych

4. Zagrożenia związane z urządzeniami elektrycznym

4.1. Zagrożenia o charakterze elektrycznym

4.1.1. Porażenie i oparzenie prądem elektrycznym

4.1.2. Oddziaływanie łuku elektrycznego

4.1.3. Oddziaływanie ładunków elektrostatycznych

4.1.4. Oddziaływanie zjawisk atmosferycznych i procesów łączeniowych

4.2. Zagrożenia o charakterze termicznym

4.3. Zagrożenia o charakterze chemicznym

5. Ograniczanie ryzyka związanego z zagrożeniami o charakterze elektrycznym

5.1. Zjawisko porażenia prądem elektrycznym

5.2. Ochrona przeciwporażeniowa

5.2.1. Ochrona podstawowa w urządzeniach niskonapięciowych

5.2.2. Inne rozwiązania ochrony podstawowej i ochrona

uzupełniająca

5.2.3. Rozwiązania ochrony przed napięciami
szczątkowymi

5.2.4. Ochrona dodatkowa w urządzeniach
niskonapięciowych

5.2.5. Połączenia wyrównawcze

5.2.6 Realizacja ochrony przeciwporażeniowej w
warunkach szczególnych

5.2.7. Informacja o ochronie przeciwporażeniowej w
urządzeniach wysokonapięciowych i ochronie przed
łukiem elektrycznym

5.3. Ochrona antyelektrostatyczna

5.4. Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa

6. Ograniczanie ryzyka związanego z pozostałymi zagrożeniami

6.1. Zagrożenia o charakterze termicznym i chemicznym

6.2. Zagrożenia o charakterze mechanicznym

7. Literatura

1

1. Wprowadzenie

W tym rozdziale:

- Charakter zagrożeń elektrycznych
- Rola służb BHP w zakresie zagrożeń elektrycznych
- Klasyfikacja urządzeń elektrycznych ze względu na istotne zagrożenia przez nie stwarzane

Przedmiotem niniejszego opracowania jest zbiór elementarnych informacji teoretycznych oraz pewien zasób wiadomości praktycznych - przydatnych dla przybliżenia zagadnień związanych ze zjawiskami elektrycznymi przy kształceniu nauczycieli problematyki BHP w ramach studiów podyplomowych.

Obowiązujące aktualnie prawo nakłada na służby BHP konkretny zakres obowiązków, dlatego też kandydatom na pracownika zajmującego się taką działalnością należy przekazać podczas procesu dydaktycznego specjalistyczną wiedzę - również w dziedzinie bezpieczeństwa elektrycznego. Ma ona na celu umożliwienie postrzegania zjawisk, rozumienie problemów i poprawne komunikowanie się zarówno z pracownikiem, w szczególności odpowiedzialnym za urządzenie elektryczne, jak też i z pracodawcą - po to, by w rzeczowy sposób przedstawiać konkretne argumenty. Pracownik służb BHP zasadniczo nie potrzebuje wykonywać przy takim urządzeniu żadnych pomiarów (gdyż zajmuje się tym grupa wyspecjalizowanych elektryków, posiadających odpowiednie uprawnienia), jednakże powinien rozumieć istotę pomiaru, a niekiedy współuczestniczyć w dokonywaniu interpretacji przedstawionych wyników. Podobnie:

- zwykle nie podejmuje on decyzji merytorycznych związanych z budową urządzeń i z zastosowanymi w nich rozwiązaniami, gdyż zastrzeżone to jest dla projektanta, kierownika budowy/robót i inspektora nadzoru, jako personelu samodzielnie pełniącego funkcje techniczne w budownictwie - na który nakłada się konieczność posiadania stosownych uprawnień, ubezpieczenia i członkostwa w organizacjach branżowych [11],
- nie zajmuje się osobiście wykonywaniem czynności eksploatacyjnych przy urządzeniach elektrycznych oraz dozorem nad ich eksploatacją, do czego również konieczne są odpowiednie kwalifikacje [7].

Rozważania dotyczące urządzeń elektrycznych, z racji istotnych zagrożeń stwarzanych przez nie w rzeczywistości, proponuje się ograniczyć zasadniczo do urządzeń elektroenergetycznych [53] [79], czyli służących do:

a) wytwarzania energii elektrycznej, jakimi są: prądnice (generatory), agregaty prądotwórcze,

b) przesyłu energii na odległość – czyli sieci utworzonych w terenie z przesyłowych linii kablowych i napowietrznych oraz stacji (np. transformatorowo-rozdzielczych) zapewniających przetwarzanie energii elektrycznej na inny poziom napięcia i umożliwiających rozdział energii, w skali obiektu budowlanego (budowli, budynku lub zespołu budynków) takie funkcję spełniają instalacje elektroenergetyczne składające się z przewodów i urządzeń rozdzielczych (np. rozdzielnic, tablic zabezpieczeniowych),

c) przetwarzania energii elektrycznej na inne rodzaje energii (takie urządzenia zazwyczaj nazywamy odbiornikami), tzn.:

- mechaniczną - np. silniki, w które wyposażone są maszyny czy elektronarzędzia, a także rozmaite urządzenia produkcyjne czy technologiczne o różnym stopniu złożoności,

- cieplną - np. podgrzewacze, warki, piece do różnych zastosowań, sprzęt spawalniczy, zgrzewarki,

- elektromagnetyczną - np. źródła światła i sprzęt oświetleniowy, aparaty elektromedyczne, magnetyczne wychwytywacze zanieczyszczeń metalowych, rozmaite urządzenia telekomunikacyjne i nadajniki,

- chemiczną - np. wanny elektrolityczne, ogniwa elektrochemiczne i wyposażenie akumulatorni,

Wspomnieć tu należy także o wszelkiego rodzaju urządzeniach przetwarzających tylko parametry prądu elektrycznego (prostowniki, falowniki) oraz wykorzystujących energię elektryczną jako narzędzie, przykładowo do wytworzenia zjawisk elektrostatycznych w procesach technologicznych - do nanoszenia powłok malarskich czy rozdzielania (jak np. elektrofiltry) i łączenia materiałów (np. do pokrywania folią).

Zakres rozważań dotyczących wymienionych urządzeń celowo zawęża się do problematyki zagadnień związanych z bezpieczeństwem pracy, a zatem koncentruje się wokół opisanych dalej zagrożeń i redukcji związanego z nimi ryzyka. Natomiast nie obejmuje problematyki: ochrony katodowej, kompensacji mocy biernej, zjawisk harmoniczných w obwodach elektrycznych, efektywności energetycznej – jako zagadnień, przy których nie pojawiają się istotne zagrożenia z punktu widzenia BHP, a także: elektromagnetyzmu i kompatybilności elektromagnetycznej, bezpieczeństwa funkcjonalnego oraz generalnie zastosowań elektryczności w transporcie – jako oddzielnych dziedzin wiedzy.

2

Elektryczność: postawy, wielkości i ich jednostki, zastosowanie

W tym rozdziale:

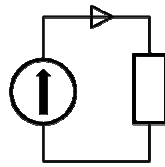
- Podstawy
- Urządzenia elektroenergetyczne

2.1.Podstawy

Pod ogólnym pojęciem elektryczności rozumie się [66] [73]:

- zespół zjawisk związanych z przepływem prądu elektrycznego - gdy ładunki elektryczne są w ruchu lub mamy do czynienia ze zmiennością ich w czasie,
- zjawiskami elektrostatycznymi - gdy ładunki elektryczne nie zmieniają w czasie lub nie poruszają się.

Przepływ prądu jest możliwy w materiale zwanym przewodnikiem, czyli takim, w którym występuje możliwość łatwego przemieszczania się wolnych nośników, jakimi są elektrony, z orbity jednego atomu na orbitę innego pod działaniem zewnętrznego pola elektrycznego. Dla odmiany, w materiale zwanym dielektrykiem (izolatorem) obserwuje się silne związki pomiędzy jądrem atomowym a elektronami, co w praktyce utrudnia przemieszczanie się ładunków elektrycznych.



Rys. 1. Schemat prostego obwodu prądu stałego, zawierającego źródło i opornik

Najprostszym modelem teoretycznym obwodu elektrycznego, na przykładzie którego przedstawić można zależność zwaną prawem Ohma:

$$U = R I$$

jest zamknięty obwód, składający się ze źródła np. napięcia stałego (jakim przykładowo jest ogniwo elektrochemiczne) i odbiornika (np. opornika), połączonych przewodami. Owo źródło, o napięciu U wyrażonym w woltach, wymusza ruch elektronów – co oznacza, że w obwodzie popłynie prąd I o wartości wyrażonej w amperach, ograniczony oporem

elektrycznym zwanym rezystancją R (dla prądu stałego), natomiast dla prądu przemiennego - impedancją Z . W rzeczywistym obwodzie wypadkowy opór uwzględnia także wewnętrzny opór źródła oraz opór połączeń (przewodów). W przypadku obwodów złożonych mają też zastosowanie prawa Kirchhoffa, określające sumę algebraiczną napięć w zamkniętym oczku jako równą zero, a w obwodach rozgałęzionych - sumę algebraiczną prądów w węźle jako równą zero.

Zjawiskiem elektryczności statycznej nazywamy gromadzenie się wewnątrz rozpatrywanego obszaru jednoimiennych ładunków elementarnych (dodatnich bądź ujemnych), które są w spoczynku i które nie są równoważone ładunkiem przeciwnego znaku. Nośnikami ładunku mogą być elektrony bądź jony i tworzą one wokół siebie tzw. pole elektrostatyczne. Zjawisko obserwowane jest zwykle w środowisku o występujących dielektrykach (czyli materiałach o małej przewodności), np. na przewijanych taśmach materiałów tekstylnych czy papieru, ale także na przewodzących przedmiotach odizolowanych od ziemi, jak np. krzesłach o metalowym stelażu na gumowych nóżkach, wózkach poruszających się na oponach, pojazdach drogowych i powietrznych. Najczęstszą przyczyną powodującą elektryzację jest wzajemny ruch (przemieszczanie się) ciał połączony z tarcieniem, w tym: przesuwanie, przelewanie, przepompowywanie, ale może nią być też rozbijanie (kruszenie) ciał stałych czy rozpylanie (atomizacja) cieczy. Czynnikiem powodującym elektryzowanie bywa także energiczne rozdzielanie przedmiotów wykonanych z materiałów nieprzewodzących. Innym mechanizmem jest elektryzowanie przez indukcję. Stanem naelektryzowania materiału (przedmiotu), którym może być ciało stałe, ciecz lub gaz, nazywamy taki stan, w którym stwierdza się obecność ładunku na nim. Miarą może być potencjał w stosunku do ziemi – przykładowo człowiek pracujący i poruszający się w nowoczesnym pomieszczeniu biurowym może naładować się do napięcia rzędu kilowoltów. Elektryzowanie przedmiotu może być ciągle - gdy pojawia się stale, np. podczas trwania pewnego procesu, lub dorywcze (okresowe) – gdy ma miejsce przejściowo, np. podczas wykonywania tylko pewnej czynności.

Rozładowanie zgromadzonego ładunku może odbywać się stopniowo (np. samoistnie – wskutek istnienia upływności czy ulotu) albo nagle – w formie wyładowania (iskrowego, snopiastego), niekiedy nawet groźnego, a spowodowanego np. zetknięciem się przedmiotów, z których jeden jest uziemiony. Jednostką ładunku jest kulomb, definiowany jako ładunek przemieszczony przez prąd o stałej wartości 1 ampera w czasie 1 sekundy.

Charakterystycznym przykładem występujących w naturze zjawisk elektrycznych jest gromadzenie się ładunku elektrostatycznego na chmurach podczas ich przemieszczania się w atmosferze ziemskiej. Gwałtowne rozładowanie, czy to pomiędzy dwiema chmurami, jak i pomiędzy chmurą a powierzchnią ziemi, nazywamy wyładowaniem atmosferycznym, potocznie zwane piorunem – mającym postać iskry o wielosetmetrowej długości. Prąd pioruna ma natężenia o szacowanej wartości rzędu setek tysięcy amperów i prowadzi do nagłego wydzielania się ciepła w kanale wyładowania oraz zjonizowania w nim atomów, czego wynikiem jest widoczny błysk i słyszalny huk, będący rozprężeniem się nagrzanego powietrza w formie fali uderzeniowej. Przepływ prądu wyładowania atmosferycznego, oprócz szkód o charakterze termicznym i mechanicznym w trafionym obiekcie oraz możliwości porażenia ludzi, wywołuje także impulsowe zaburzenie pola elektromagnetycznego indukujące szkodliwe przepięcia w zamkniętych pętlach utworzonych przez przewody w urządzeniach elektrycznych.

2.2. Urządzenia elektroenergetyczne

Niebywały rozwój techniki, a wraz z nim urządzeń elektrycznych - zapewniających pomoc człowiekowi w zaspokajaniu różnych jego potrzeb - doprowadził do powstania pewnego modelu zasilania w energię elektryczną różnych odbiorców. Najczęściej w praktyce ma on postać tzw. systemu elektroenergetycznego, obejmującego w skali kraju lub nawet kontynentu rozproszone i współpracujące ze sobą elektrownie różnych rodzajów: cieplne, wodne, jądrowe, wiatrowe, pływowe, słoneczne, itp. Wytwarzana w nich energia elektryczna jest

przesyłana sieciami o różnych poziomach napięć do odbiorców, którymi mogą być np. zakłady przemysłowe, podstacje zasilające pojazdy trakcyjne, odbiory o charakterze komunalnym (budynki mieszkalne, użyteczności publicznej i biurowe, szkoły, placówki służby zdrowia, przepompownie sieci grzewczych i wodno-kanalizacyjnych, itp.), obiekty telekomunikacyjne, sieci oświetlenia dróg i ulic, itd. Na kontynencie europejskim takie systemy wykorzystują przeważnie uniwersalny trójfazowy układ prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz, umożliwiający współpracę sieci różnych napięć, a w przypadku urządzeń niskonapięciowych – także pozwalający na swobodne przyłączanie odbiorników jednofazowych. Natomiast w przypadku konieczności lokalnego zasilania odbiorników w terenie znajdującym się w znacznej odległości od sieci, bądź gdy ze względu na tymczasowość zapotrzebowania na energię nie jest korzystne doprowadzanie linii zasilającej na stałe - stosuje się np. zasilanie ze spalinowego agregatu prądotwórczego, co w praktyce znajduje częste zastosowanie przy prowadzeniu robót ziemnych, prac budowlanych lub zasilania odbiorów o niestálym charakterze (targi, imprezy, itp.). Coraz częściej do takich celów stosuje się także niekonwencjonalne źródła energii - w naszym otoczeniu pojawiają się zestawy zawierające element fotowoltaiczny (baterię słoneczną) i turbinę wiatrową, współpracujące z buforową baterią akumulatorów, a które wykorzystuje się np. do zasilania urządzeń sterującym ruchem drogowym.

Wspomniane agregaty prądotwórcze stanowią również ważne źródło energii do zasilania rezerwowego, używane w przypadku awarii publicznej sieci elektroenergetycznej jako podstawowego źródła zasilania. W praktyce bywają zainstalowane na stałe w obiektach wymagających wysokiej pewności zasilania, jak w szpitalach, w obiektach telekomunikacyjnych, na lotniskach i ważnych dworcach kolejowych, w obiektach użyteczności publicznej, w wieżowcach, itp. Standardowym wyposażeniem współczesnych agregatów jest automatyka umożliwiająca samoczynne uruchomienie i przejęcie obciążenia. Jednakże zazwyczaj rozwinięcie pełnej mocy po ich rozruchu występuje po pewnym czasie (nawet rzędu minut), więc szczególnie wrażliwe odbiorniki, nie tolerujące jakiegokolwiek przerwy, przyłącza się

do bezprzerwowych zasilaczy (UPS) wykorzystujących baterie akumulatorów. Natomiast mniej wymagające obiekty (np. stacje bazowe telefonii komórkowej, jako posiadające własne UPS-y), mogą być zasilane z przewoźnych agregatów, dostarczanych na miejsce po pewnym czasie od chwili wystąpienia awarii.

Zasadniczy podział wśród urządzeń elektroenergetycznych przebiega według kryterium napięcia:

- niskonapięciowe (oznaczane zwyczajowym skrótem nn) – gdy nie przekracza ono wartości 1000 V prądu przemiennego i 1500 V prądu stałego,
- wysokonapięciowe (oznaczane zwyczajowym skrótem WN) – gdy przekracza ono odpowiednio te wartości.

Podział taki, uwzględniający stwarzane przez urządzenie zagrożenia (w szczególności związane z porażeniem prądem i oddziaływaniem łuku elektrycznego), utrzymuje się od wielu lat i ma przełożenie na sposób eksploatacji urządzeń. Powszechne użytkowanie urządzeń niskonapięciowych, dostępnych dla osób niewykwalifikowanych lub nieprzeszkolonych, nie budzi kontrowersji, gdyż ciężkość urazów zazwyczaj bywa mniejsza, niż przy wysokonapięciowych. Te z kolei buduje się tak, by uniemożliwić dostęp do niebezpiecznych części dla osób postronnych, a eksploatację powierza się wykwalifikowanemu personelowi dla zapewnienia dotrzymania procedur zapewniających bezpieczeństwo pracy.

Z punktu widzenia częstotliwości, najbardziej rozpowszechnione w praktyce są urządzenia prądu przemiennego (sinusoidalnego), jako specyficznej odmiany prądu zmiennego (czyli o wartości zmiennej w czasie) – na kontynencie europejskim jako tzw. częstotliwość przemysłową przyjęto 50 Hz. Koncepcja taka ukształtowała się na przestrzeni stuletniej elektryfikacji jako kompromis możliwy do osiągnięcia, a jednocześnie umożliwiający wytwarzanie energii elektrycznej w generatorach ówczesnych elektrowni wodnych i cieplnych oraz łatwe przetwarzanie jej w transformatorach. Ten atut okazał się istotny wobec potrzeby

podniesienia napięcia pracy linii służących do przesyłu energii na odległość – im dalej usytuowane odbiory i większy ich pobór mocy, tym wyższa powinna być wartość napięcia, bowiem wówczas można zapewnić minimalizację związanych z tym strat. We współczesnych systemach elektroenergetycznych standardowo stosuje się napięcia rzędu kilkuset tysięcy czy miliona woltów (potocznie zwane najwyższymi napięciami) przy przesyłach na duże odległości, a rzędu kilkudziesięciu kilowoltów (potocznie zwane średnimi napięciami) – w sieciach rozdzielczych i przy dostarczaniu energii do dużych odbiorów umiejscowionych w niedalekim terenie.

Urządzenia prądu stałego, oprócz ewidentnych zastosowań w procesach elektrochemicznych lub w medycynie, silnie zakorzeniły się też w transporcie - w szczególności do zasilania pojazdów trakcyjnych (kolej, tramwaj, metro, trolejbus) i gdzie, przynajmniej w krajowych realiach, zapewne nieprędko zostaną zastąpione przemiennoprądowymi. Ponadto prąd stały uprzywilejowany jest wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia z wykorzystaniem elektrochemicznych źródeł zasilania (ogniwa lub akumulatory), w szczególności występujących we wspomnianych układach zasilania bezprzewodowego. Nie do przecenienia jest także zastosowanie prądu stałego w rozmaitych urządzeniach kontrolno-pomiarowych, sterowniczych i telekomunikacyjnych. Natomiast żywiłowy rozwój energoelektroniki pozwolił nawet na wypieranie tradycyjnych urządzeń prądu przemiennego przy przesyłach energii na odległość – obserwuje się bowiem tendencje do budowania nowoczesnych stacji przekształtnikowych, umożliwiających włączanie linii przesyłowych prądu stałego do systemów elektroenergetycznych, a napięcia w nich stosowane oscylują nawet wokół poziomu miliona woltów.

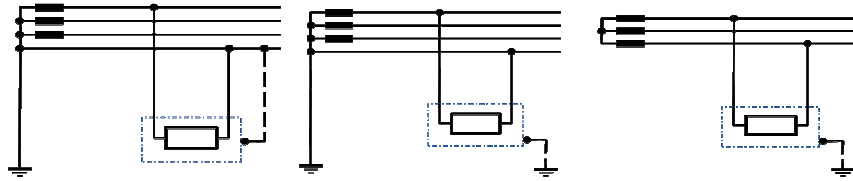
Wspomnieć należy także o urządzeniach wysokoczęstotliwościowych, stosowanych w telekomunikacji, w przemyśle (np. do sterowania pracą silników w liniach technologicznych), w transporcie (np. do zasilania urządzeń pokładowych), w medycynie (np. aparaturze do elektroterapii) – rozwój elektroniki zaskakuje nas wciąż nowymi aplikacjami i należy przewidywać ich pojawianie się w różnych gałęziach elektrotechniki. Przykładowo można wspomnieć o zasilaczach

impulsowych, stanowiących wyposażenie praktycznie każdego komputera, zaawansowanego systemu sterowania, czy choćby popularnych energooszczędnych źródeł światła.

Z punktu widzenia charakteru użytkowania urządzeń, wyróżniamy: stałe – czyli te, które są na stałe związane z podłożem (fundamentem) lub otoczeniem (budynkiem), stacjonarne – które można przemieszczać dla użytkowania w konkretnej lokalizacji (np. kontenerowe stacje transformatorowe, agregaty prądotwórcze na podwoziu przyczepy), przenośne – przewidziane do przemieszczania podczas pracy (np. niektóre rozdzielnice budowlane, elektronarzędzia do obróbki płytek ceramicznych, zgrzewarki do rur) i ręczne – czyli trzymane w rękach podczas pracy (np. wiertarki ręczne, lutownice, oprawy oświetlenia miejscowego). Przewidziany charakter użytkowania zazwyczaj ma istotny wpływ na konstrukcję urządzenia.

Z punktu widzenia budowy układu zasilania, wspomniany wcześniej trójfazowy układ sieci zasilającej, nadzwyczaj chętnie stosowany ze względu na liczne zalety, obejmuje zasadniczo wszystkie kluczowe elementy systemu elektroenergetycznego – od trójfazowego źródła energii, jakim są np. poszczególne uzwojenia fazowe generatora lub uzwojenia wtórne transformatora (łączone najczęściej „w gwiazdę” lub „w trójkąt”), poprzez przewody linii przesyłowych, aż do zacisków wejściowych odbiorników. Wyodrębnia się trzy podstawowe typy trójfazowych układów, oznaczane następującymi symbolami: TN, TT i IT. Pierwsza litera podaje ogólny sposób połączenia takiego układu z ziemią: T – gdy przynajmniej jeden punkt obwodu ma nadany potencjał ziemi (z reguły jest to tzw. punkt gwiazdowy lub przewód neutralny) poprzez bezpośrednie połączenie z uziomem roboczym, I – gdy układ nie ma połączenia z ziemią lub jest z nią połączony, lecz poprzez impedancję o znacznej wartości. Drugi znak informuje o ewentualnym połączeniu z ziemią metalowych elementów (obudowy) poszczególnych urządzeń, w tym odbiorników: N – gdy uziemia się je poprzez przewód neutralny układu zasilania, albo T – gdy wykorzystuje się do tego odrębny układ uziomów. Każdy z wymienionych typów charakteryzuje się innymi cechami, przekładającymi się w praktyce na pewność pracy

podczas występowania ewentualnych zakłóceń czy łatwość eliminowania skutków zwarcie przez odpowiednie stosowanie różnych zabezpieczeń.



Rys. 2. Podstawowe typy trójfazowych układów sieciowych: TN (podtyp TN-C), TT, IT

Urządzenia elektroenergetyczne mogą znajdować się w różnych stanach, przykładowo w stanie pracy – czyli normalnego funkcjonowania, zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi. Mówimy, iż płynący wówczas w obwodzie prąd jest tzw. prądem roboczym. Poza tym mogą występować różne stany anormalne, w szczególności związane z występowaniem zakłóceń w pracy lub wręcz z pojawieniem się uszkodzenia, spowodowane czynnikami losowymi lub nieodpowiednim działaniem człowieka. Przykładem może być stan zwarcia, czyli takie połączenie dwóch punktów obwodu, znajdujących się pod różnymi potencjałami, że zazwyczaj dochodzi przy tym do gwałtownego wzrostu wartości prądu (nazywanego wówczas prądem zwarciovym), skutkującego nagrzewaniem elementów urządzenia i prowadzącego niekiedy do pożaru czy istotnych strat. Niekiedy towarzyszy temu zjawisko łuku elektrycznego, trudnego do opanowania, a zarazem szczególnie niebezpiecznego dla ludzi i urządzeń. Innym przykładem może być tzw. przeciążenie, czyli obciążenie elementów urządzenia (obwodu) nadmiernym prądem, co z reguły bywa następstwem niewłaściwego postępowania człowieka – tu również skutkiem może być zniszczenie termiczne urządzeń i zainicjowanie pożaru. Jeszcze innym stanem jest przegrzanie, czyli sytuacja, w której wydzielające się ciepło (np. w elementach grzejnych) nie jest odpowiednio odbierane - przykładowo wskutek uszkodzenia regulatora temperatury lub ubytku czy ustania ruchu czynnika chłodzącego.

Odmienność warunków pracy rozmaitych urządzeń elektroenergetycznych i zróżnicowanie stopnia skomplikowania ich konstrukcji przekładają się na wymagania co do ich budowy oraz związane z tym zasady eksploatacji, w tym kwalifikacje personelu.

3

Zasady budowy i eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych

Bezpieczeństwo związane z eksploatacją urządzeń elektrycznych od dawna było przedmiotem zainteresowania systemów prawa i w drodze jego ewolucji osiągnęło określony poziom. Przykładowo w Polsce obowiązywały niegdyś Przepisy Budowy Urządzeń Elektroenergetycznych, Przepisy Eksploatacji Urządzeń Elektroenergetycznych oraz liczne normy techniczne – rozwiązania tam preferowane ugruntowały się przez dziesięciolecia, choć dopiero dziś postrzegamy, jak bardzo były zachowawcze. Jednakże ostatnie lata wniosły w tę rzeczywistość nowe trendy, wynikające ze współczesnych koncepcji zapewnienia bezpieczeństwa, znanych w krajach o zaawansowanej technice. Aktualne zasady wynikają bezpośrednio z europejskiego systemu prawa, w którym dyrektywa, zawierająca stosowne wymagania, musi być zaimplementowana do aktów prawnych we wszystkich krajach członkowskich dla zapewnienia jednolitego prawa, umożliwiającego swobodny przepływ towarów, kapitału i usług. Wymagania takie, nazwane „zasadniczymi” w tzw. dyrektywach nowego podejścia, np. niskonapięciowej [9], maszynowej [10], gazowej, itd. - dotyczą zasadniczo wyrobów (w szczególności przeznaczonych do rozprowadzania w obrocie handlowym), natomiast tożsame co do poziomu bezpieczeństwa wymagania zwane „podstawowymi” mają odniesienie do obiektów technicznych w rozumieniu prawa budowlanego, czyli np. instalacji elektroenergetycznych obiektów budowlanych. Szczególne miejsce w tej hierarchii znajduje ochrona praw konsumentów [14], a zwłaszcza szeroko rozumiane bezpieczeństwo [17] ludzi, mienia i środowiska, jak też odpowiedzialność za swoje poczynania wszystkich podmiotów, które działając w danej branży, świadczą usługi lub wytwarzają dobra.

Uznane zasady aktualnej wiedzy technicznej, opracowane w drodze konsensusu pomiędzy ekspertami i zweryfikowane w praktyce, zawierane są w normach technicznych [16] ustanowionych przez powołane instytucje krajowe (np. Polski Komitet Normalizacyjny). Normy te, wprawdzie będąc zasadniczo dokumentami do dobrowolnego stosowania, mogą być powoływane w prawie, jednak dla każdego podmiotu (producenta, projektanta, służb eksploatacji) są w praktyce ważnym źródłem informacji (patrz: np. [72] zesz.

3 i 4). Zawierają one bowiem uszczegółowienie wymagań bezpieczeństwa (patrz: np. [68] zesz. 129-130 str. 5), ogólnie wymienionych w dyrektywach, ale także pewne wskazówki mające na celu ujednoczenie kryteriów, według których przebiega proces badania (sprawdzania) wyrobów.

W takim systemie prawa, jako absolutny priorytet mają być podjęte działania na rzecz bezpieczeństwa na bardzo wysokim poziomie – np. dla producenta urządzeń elektrycznych (wyrobów finalnych lub elementów składowych) oznacza to konieczność dokonania procesu oceny ryzyka (patrz: np. [25], [57]) na etapie projektowania/konstruowania wyrobu dla wyeliminowania wszystkich możliwych zagrożeń, dających się przewidzieć w racjonalny sposób (czyli stworzenie urządzenia tzw. „bezpiecznego w sobie”) [23]. W przypadku, gdy jest to niemożliwe, to zobowiązany jest on do zastosowania „wbudowanych w obiekt” rozwiązań technicznych dla ograniczenia ryzyka do poziomu akceptowalnego, a jeżeli konieczne – to także zapewnienie ostrzeżenia o utrzymującym się ryzyku resztkowym. Zatem wprowadzenie wyrobu do obrotu handlowego dozwolone jest wyłącznie w odniesieniu do takich produktów, które zostały poddane formalnej procedurze oceny zgodności z obowiązującymi wymaganiami i wykazano ich ewidentne spełnienie [15]. Konkretna procedura do zastosowania, wymóg wystawienia deklaracji zgodności i naniesienia oznakowania CE, a także ewentualna konieczność współpracy z jednostką notyfikowaną - wynikają z mającej zastosowanie dyrektywy (lub kilku z nich), stosownie do charakteru wyrobu. Wprawdzie państwo nie kontroluje produkcji bezpośrednio, lecz prowadzi nadzór rynku dla wyeliminowania wyrobów niebezpiecznych i współpracuje w tej kwestii z instytucjami unijnymi. Producent, wykazując spełnienie postanowień wynikających z norm technicznych zharmonizowanych z odpowiednią dyrektywą, korzysta z przywileju domniemania zgodności z wymaganiami zasadniczymi podanymi w tej dyrektywie. W niektórych przypadkach może też skorzystać z własnych dokumentów zamiast z normy – jednakże, niezależnie od wybranej drogi, zawsze musi mieć świadomość ciężającej na nim odpowiedzialności za wyrób swój lub z umieszczonym swym znakiem. Ponadto musi uwzględnić wszystkie „fazy życia”

obiektu technicznego: od produkcji (czyli montażu w wytwórni lub w miejscu zainstalowania, włączając w to procedury odbioru czy oddania do użytku), poprzez eksploatację (w tym czynności konserwacyjno-remontowe i badanie stanu technicznego), do wycofania i złomowania (demontaż, odzysk materiałów niebezpiecznych) [19]. Niezmiernie istotna jest przy tym rola szeroko rozumianej dokumentacji technicznej – koniecznej dla procesu oceny zgodności, potrzebnej podczas produkcji i montażu oraz niezbędnej dla prawidłowego doboru i poprawnej eksploatacji wyrobu, w tym dla zachowania skuteczności przewidzianych konstrukcyjnie środków ochrony.

Odrębne dyrektywy, tzw. socjalne, mają na celu zabezpieczenie odpowiednich warunków wykonywania pracy, a w szczególności bezpieczeństwo – ich postanowienia także zaimplementowano do prawa krajowego [1]. Formułują one także zestaw wymagań [5], których adresatem jest głównie pracodawca, zarówno organizacyjnych, jak i technicznych. Te drugie, zwane „minimalnymi” – w praktyce nieco niższe w kwestii poziomu bezpieczeństwa, niż wspomniane wymagania zasadnicze, gdyż dotyczą urządzeń niekiedy starszych, a zatem reprezentujących mniej nowoczesny poziom techniki – dotyczą praktycznie wszelkich narzędzi, maszyn i wyposażenia czy sprzętu roboczego powierzanych pracownikom przez pracodawcę. Podane tam wymagania minimalne muszą być spełnione przez wszystkie te urządzenia niezależnie od daty ich wyprodukowania (udostępnienia) czy zastosowanej procedury oceny. Zwrócić należy uwagę, iż w odniesieniu do urządzeń pozostających w użytkowaniu, termin ich dostosowania do spełniania minimalnych wymagań minął kilka lat temu. Ponadto nie istnieją w tym przypadku konkretne normy techniczne, które podawałyby szczegółowe wymagania bezpieczeństwa, natomiast bezkrytyczne zastosowanie norm zharmonizowanych z dyrektywami nowego podejścia może niekiedy powodować nieracjonalnie głębokie przeróbki dostosowywanego urządzenia lub wręcz jego przewymiarowanie.

Bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń elektrycznych, tak jak i wszelkich obiektów technicznych, jest uzależnione od poprawnego ich doboru do konkretnego zastosowania oraz do

warunków środowiskowych, jakie występują w przewidzianym miejscu użytkowania. Konstruktor czy projektant obiektu technicznego tworzy go uwzględniając bieżący stan wiedzy technicznej, natomiast w odniesieniu do dziś budowanych urządzeń wymagane jest ponadto przewidzenie wszystkich możliwych narażeń, jakie będą rzeczywiście występować lub zaistnieją sporadycznie, czy których pojawienia się można tylko domniemywać - aby podjąć skuteczne działania zmierzające do redukcji związanego z nimi ryzyka. W szczególności dotyczy to możliwych do racjonalnego przewidzenia uszkodzeń, wystąpienia stanów anormalnych i niewłaściwego zastosowania. Zatem obowiązkiem producenta takiego obiektu jest wyraźnie podanie w dokumentacji technicznej wszelkich ograniczeń konstrukcyjnych, wymagań i wytycznych dla prawidłowego doboru, zainstalowania i eksploatacji. Natomiast po stronie odbiorcy, którym może być pracodawca, jego personel techniczny (np. technolog) lub osoba opracowująca na jego zlecenie dokumentację wykonawczą (np. projektant) leży ścisły obowiązek takiego doboru i zastosowania wyrobu, by bezwzględnie były dotrzymane wskazania producenta. Należy tu zwrócić uwagę na istotne przesłanki dotyczące kwalifikacji personelu, gdyż w zależności od stopnia skomplikowania i występujących zagrożeń, obiekty techniczne mogą charakteryzować się różną budową i zastosowaniem środków ochronnych [30]. Zasadniczo osoby mające styczność z urządzeniem dzieli się na [53] [79]:

- wykwalifikowane – jako świadome zagrożeń (np. inżynierowie i technicy, personel serwisowy),
- poinstruowane (np. odpowiednio przeszkolony personel zajmujący się użytkowaniem czy konserwacją urządzenia),
- postronne – czyli inne osoby nie posiadające specjalnych kwalifikacji z punktu widzenia danej dziedziny wiedzy.

W przypadku wykonywania niektórych czynności eksploatacyjnych przy urządzeniach elektroenergetycznych, wymaga się posiadania odpowiedniego zaświadczenia kwalifikacyjnego, dającego rękojmię poprawnego wykonywania prac mających wpływ na bezpieczeństwo [7] [12].

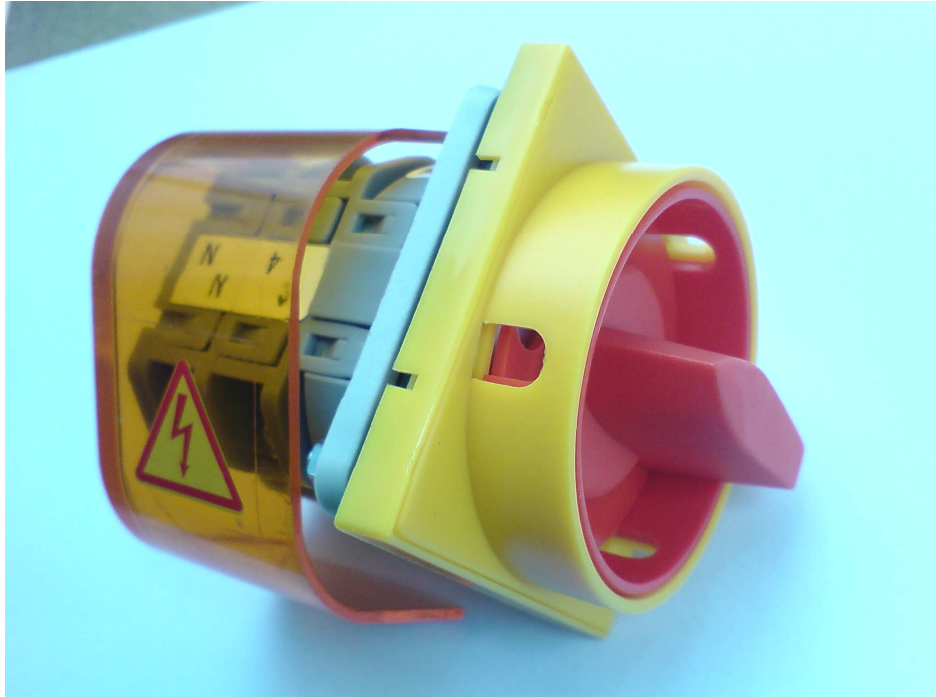
Konieczność zapewnienia bezpieczeństwa ludzi, mienia i środowiska, niezależnie od rodzaju obiektu technicznego, dyktuje pewne elementarne zasady praktyczne budowy i eksploatacji różnych urządzeń elektrycznych.

Przykładowo, doprowadzenie energii elektrycznej do urządzenia powinno być zawsze odpowiednie z punktu widzenia jego rodzaju i charakteru pracy, w szczególności uwzględniające ilość żył w przewodzie zasilającym, ich materiał i sposób przyłączenia (przewidzenie stosownych zacisków, giętkiego sznura dla odbiorników ruchomych, zestawu wtyczka-gniazdo, itp.). Możliwość mechanicznego uszkodzenia giętkich przewodów wyprowadzonych z obudowy powinna być ograniczona poprzez zastosowanie odgiętki wymuszającej ich ułożenie po odpowiednim promieniu gięcia lub nakładki na krawędź otworu chroniącą przed przetarciem warstw izolacji. Możliwość wyrwania takiego przewodu z obudowy, a w konsekwencji odsłonięcie końcówek jego żył pozostających pod niebezpiecznym napięciem, powinna być ograniczona poprzez zamocowanie jego do obudowy, np. wskutek zastosowania mechanicznej odciążki. Podobnie, przy wszystkich odejmowanych lub otwieranych elementach urządzenia (np. klapach, pokrywach, pulpitych), do których dochodzą poruszane przewody, powinno się stosować rozwiązania uniemożliwiające przenoszenie mechanicznych naprężeń na końcówki przewodów doprowadzone do zacisków aparatów – przykładem takich rozwiązań mogą być ograniczniki kąta otwarcia lub łańcuszki bądź linki podtrzymujące taki element.

Doprowadzeniu energii do urządzenia elektroenergetycznego zawsze musi towarzyszyć zastosowanie odpowiedniego urządzenia zapewniającego możliwość odłączania od źródeł zasilania [5]. W przypadku stacji transformatorowej może to być wyposażenie pola rozdzielnic w odłącznik stwarzający widoczną przerwę w obwodzie (niezależnie od innego wyposażenia, niekiedy koniecznego) lub wyjmowanych wkładek bezpiecznikowych. W przypadku maszyny przemysłowej może to być odpowiedni rozłącznik w miejscu doprowadzenia kabla zasilającego, konieczne jest przy tym zapewnienie funkcji informowania obsługi o uzyskaniu izolacyjnego odstępu zestyków we wszystkich biegunach (np.

poprzez widoczny wskaźnik położenia zestyków lub przyjęcie jednoznacznej pozycji „0” przez rękojeść napędu rozłącznika). Wymaga się ponadto zastosowanie rozwiązania uniemożliwiającego niezamierzone uruchomienie odstawionego urządzenia, np. poprzez zastosowanie kłódki do zamykania rękojeści napędu rozłącznika. Drobnym elektronarzędziom wystarcza wyjęcie wtyczki z gniazda, jeżeli pozostaje ona pod nadzorem użytkownika. Instalacje w obiektach budowlanych powinny być tak zaprojektowane, by możliwe było odłączenie ich fragmentu poprzez proste przestawienie styków przewidzianego rozłącznika. Wszelkie lokalne (wewnętrzne) źródła energii urządzenia, jak: transformator, prądnicą, bateria akumulatorów – powinny być wyposażone w pewne i niezawodne środki umożliwiające ich odłączenie. Ponadto wszędzie tam, gdzie wykonywanie jakichkolwiek czynności konserwacyjnych może stać się okolicznością, przy której dojdzie do urazu (np. mechanicznego) wskutek niespodziewanego uruchomienia urządzenia – wymaga się stosowania odpowiednio ryglowanego rozłącznika konserwacyjnego, np. zamykanego na kłódkę, do czasu Jeżeli praca urządzeń elektroenergetycznych lub pozostawianie ich pod napięciem może wiązać się z nagłym wystąpieniem zagrożenia (np. wskutek uszkodzenia, wypadku, pożaru), konieczne jest wyposażenie ich w urządzenie do awaryjnego wyłączenia lub zatrzymania [5] [10]. Zastosowane rozwiązania techniczne, uwzględniające wynik oceny ryzyka, muszą być tak przewidziane, by nie powodować zwiększenia ryzyka ani pojawienia się dodatkowych zagrożeń. Zatrzymanie niebezpiecznego ruchu lub wyłączenie dopływu energii następuje w wyniku pobudzenia przez operatora „stopu awaryjnego” [24], przy czym musi to nastąpić w wyniku wykonania tylko jednej czynności (np. naciśnięcia przycisku w kształcie grzybka, przekręcenia pokrętła, przestawienia dźwigni, pociągnięcia linki). Element sterowniczy realizujący taką funkcję ma być dostępny i umieszczony w bezpośredniej bliskości operatora, natomiast jego oznaczenie nie może nasuwać jakichkolwiek wątpliwości co do przeznaczenia – zastrzeżona do tego celu jest barwa czerwona na żółtym tle. Należy wspomnieć, iż w urządzeniach spełniających wymagania zasadnicze, ów element sterowniczy w stanie po pobudzeniu powinien pozostać zaryglowany tak, by ponowny

rozruch poprzedzony był celowym zadziałaniem dla jego zwolnienia (np. przekręcenia gałki, wyciągnięcia przycisku). W każdym zaś przypadku resetowanie stopu awaryjnego nie może powodować samorozruchu urządzenia. Realizacja funkcji zatrzymywania/wyłączania awaryjnego musi bezwzględnie mieć priorytet nad innymi funkcjami występującymi w urządzeniu: rozruchem, zatrzymaniem roboczym, ustawianiem, kalibrowaniem, itd.zakończenia obsługi [36] [54].



Rys. 3. Przykład rozłącznika izolacyjnego do zamontowania w pulpicie

Widoczna osłona przykrywająca zaciski do przyłączenia przewodu zasilającego. Budowa pokrętła umożliwia założenie trzech klódek dla jego unieruchomienia (przy wykorzystaniu jako rozłącznika do konserwacji), a jego czerwona barwa na żółtym tle oznacza możliwość zastosowania rozłącznika do wyłączania/zatrzymywania awaryjnego.

Jeżeli praca urządzeń elektroenergetycznych lub pozostawanie ich pod napięciem może wiązać się z nagłym wystąpieniem zagrożenia (np. wskutek uszkodzenia, wypadku, pożaru), konieczne jest wyposażenie ich w urządzenie do awaryjnego wyłączenia lub zatrzymania [5] [10]. Zastosowane

rozwiązania techniczne, uwzględniające wynik oceny ryzyka, muszą być tak przewidziane, by nie powodować zwiększenia ryzyka ani pojawienia się dodatkowych zagrożeń. Zatrzymanie niebezpiecznego ruchu lub wyłączenie dopływu energii następuje w wyniku pobudzenia przez operatora „stopu awaryjnego” [24], przy czym musi to nastąpić w wyniku wykonania tylko jednej czynności (np. naciśnięcia przycisku w kształcie grzybka, przekręcenia pokrętła, przestawienia dźwigni, pociągnięcia linki). Element sterowniczy realizujący taką funkcję ma być dostępny i umieszczony w bezpośredniej bliskości operatora, natomiast jego oznaczenie nie może nasuwać jakichkolwiek wątpliwości co do przeznaczenia – zastrzeżona do tego celu jest barwa czerwona na żółtym tle. Należy wspomnieć, iż w urządzeniach spełniających wymagania zasadnicze, ów element sterowniczy w stanie po pobudzeniu powinien pozostać zaryglowany tak, by ponowny rozruch poprzedzony był celowym zadziałaniem dla jego zwolnienia (np. przekręcenia gałki, wyciągnięcia przycisku). W każdym zaś przypadku resetowanie stopu awaryjnego nie może powodować samorozruchu urządzenia. Realizacja funkcji zatrzymywania/wyłączenia awaryjnego musi bezwzględnie mieć priorytet nad innymi funkcjami występującymi w urządzeniu: rozruchem, zatrzymaniem roboczym, ustawianiem, kalibrowaniem, itd.

Zapewnienie bezpieczeństwa eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych jest możliwe pod warunkiem ścisłego przestrzegania elementarnej zasady, jaką jest utrzymywanie ich w zadowalającym stanie technicznym. Określenie tego stanu możliwe jest na podstawie wyników odpowiednich badań i pomiarów, które ogólnie można podzielić na:

- badania typu i wyrobu [15], zasadniczo dokonywane przez producenta lub na jego rzecz, a mające wykazać poprawność skonstruowania/wykonania wyrobu i stwierdzić jego zgodność z dokumentacją, normą czy innym dokumentem (np. deklaracją zgodności),
- sprawdzenie odbiorcze (pomontażowe) [20] – dla stwierdzenia poprawności doboru, prawidłowości montażu, zgodności z dokumentacją, skuteczności środki

ochrony – w urządzeniu oddawanym do użytku po zainstalowaniu/zmontowaniu czy po remoncie,

- kontrole okresowe [5] [11] – dla stwierdzenia aktualnego stanu technicznego urządzenia, co pozwala na podjęcie decyzji o kontynuacji eksploatacji, bądź o konieczności dokonania remontu, bądź kwalifikującej urządzenie do wycofania z eksploatacji.

Zakres kontroli i sprawdzeń każdego obiektu technicznego należy każdorazowo dostosowywać do jego rodzaju, charakteru i zastosowanych rozwiązań pamiętając, by nie pominąć żadnego elementu procedury badań (patrz: np. [72] zesz. 23). Natomiast ogólnie stwierdzić można, iż w praktyce każda procedura powinna uwzględniać kolejno etapy jak niżej (patrz: np. [36], [38], [54] cz. 6, [68] zesz. 126 str.3):

- oględziny – dla wizualnego sprawdzenia jakości montażu, poprawności doboru zarówno elementów urządzenia, jak i jego całości oraz zgodności z dokumentacją, stanu oznakowania informacyjnego i ostrzegawczego, poprawności rozwiązań w odniesieniu do środków ochrony, braku widocznych uszkodzeń czy symptomów świadczących o nadchodzącej awarii,

- próby i pomiary pozwalające na ilościową ocenę spełnienia kryteriów bezpieczeństwa, jednoznacznie odzwierciedlające stan techniczny (zakres każdorazowo ustala się odpowiednio do zastosowanych rozwiązań, przestrzegając postanowień zawartych w mających zastosowanie przepisach i normach, podających wymagania do spełnienia),

- sprawdzenie działania – w zasadzie dające pewność poprawnego funkcjonowania urządzenia po zakończeniu pomiarów i prób, lecz także będące ostatnim etapem, podczas którego mogą zostać wykryte ewentualne niedomagania nieujawnione wcześniej (np. utrudniony rozruch, iskrzenie, nagrzewanie się ponad normę, hałas świadczący o zużyciu),

- sporządzenie protokołu, podającego informacje wyjściowe (tzn. warunki przy prowadzeniu badań, zastosowane

metody, użyty sprzęt, wykaz punktów pomiarowych) oraz uzyskane wyniki wraz z jednoznaczną interpretacją w odniesieniu do obowiązujących wymagań.

W kwestii tych wymagań, co bywa żywo dyskutowane wśród praktyków, należy założyć zgodnie z zasadą niedziałania prawa wstecz, że kryteria do spełnienia wynikają z przepisów lub norm, jakim urządzenie podlegało w chwili oddawania do użytku (tzw. przywilej korzystania z prawa do „ochrony zastanej”) - jeżeli prawo nie nakłada obowiązku dostosowania do nowszych wymagań.

Podczas prowadzenia wszelkich kontroli, badań i pomiarów należy bezwzględnie przestrzegać, by poddane im zostały wszystkie urządzenia – jeżeli np. obejmują one budynek (biurowy, produkcyjny, mieszkalny, itd.), to oprócz ewidentnego sprawdzenia instalacji w nim występujących, do badania należy włączyć także wszelkie odbiorniki (nawet takie, które pozornie nie są użytkowane lub stanowią rezerwę magazynową) – gdyż to one najczęściej pracują w trudniejszych warunkach, a z tego względu bywają częściej źródłem zagrożeń. Jeżeli przedmiotem badania ma być złożone urządzenie (np. linia produkcyjna złożona z wielu maszyn), to z technicznego punktu widzenia sens ma jedynie szczegółowe podejście, pozwalające na wychwycenie „słabych ogniw” w drodze dokładnego przebadania każdej z maszyn – bez pomijania jakiegokolwiek próby i bez ekstrapolowania wyników na niezbadane dotąd jednostki.

Personel wykonujący prace pomiarowo-kontrolne przy urządzeniach elektroenergetycznych musi legitymować się aktualnym zaświadczeniem kwalifikacyjnym, stosownie do rodzaju urządzeń, ich napięcia i zakresu tych prac [7]. W przypadku badań okresowych instalacji elektrycznych, Prawo budowlane [11] nakłada obowiązek posiadania kwalifikacji do wykonywania dozoru. Prowadzenie takich prac, jako prowadzonych w warunkach szczególnego zagrożenia dla zdrowia i życia, musi odbywać się co najmniej dwuosobowo.

Planując okresowe badania stanu technicznego, należy uwzględnić możliwe perturbacje z tym związane, w szczególności konieczność odłączenia urządzeń od zasilania i

zatrzymania ich pracy, co niekiedy skutkuje wymiernymi stratami (np. w wyniku wstrzymania produkcji), a ponadto niekiedy także utrudnieniami (np. rozprogramowaniem sterowników) czy nakładami dodatkowej pracy (np. rozłączenie przewodów i ponowne ich połączenie po badaniach). Ze względu na fakt cyklicznego wykonywania badań okresowych, gdyż np. z Prawa budowlanego [11] wynika obowiązek prowadzenia ich co 5 lat (bądź corocznie przy występowaniu szczególnych narażeń), warto jest uwzględnić je w harmonogramach pracy urzędów.

Natomiast badania elektronarzędzi, jako urządzeń niekoniecznie związanych z budynkiem i jego instalacjami, zaleca się w trakcie eksploatacji badać według harmonogramu ustalanego na podstawie sposobu ich użytkowania (patrz: np. [68] nr 84 str.33), ujętego w następujących kategoriach:

- I – przy dorywczym użytkowaniu i zwracaniu do wypożyczalni lub użytkowaniu przez stałego pracownika,
- II – przy częstym użytkowaniu i przekazywaniu personelowi kolejnej zmiany (bez zwrotu do wypożyczalni),
- III – przy ciągłym użytkowaniu wielozmianowym lub zainstalowaniu na stałe w linii produkcyjnej.

Badania bieżące zaleca się przeprowadzać podczas wydawania elektronarzędzia z wypożyczalni lub przy przyjmowaniu na początku pracy, a w przypadku tych, które zaliczane są do II i II kategorii – przy rozpoczynaniu kolejnej zmiany. Zakres badania powinien obejmować oględziny i próbę biegu jałowego.

Badania okresowe wykonuje się nie rzadziej, niż co 6 miesięcy (dla elektronarzędzi I kategorii), lub co 4 miesiące (dla elektronarzędzi II kategorii), lub co 2 miesiące (dla elektronarzędzi III kategorii). Zakres badania, oprócz oględzin (zewnętrznych i wewnętrznych) oraz próby biegu jałowego, powinien także obejmować pomiar rezystancji izolacji i sprawdzenie (pomiar rezystancji) przewodu ochronnego.

4

Zagrożenia związane z urządzeniami elektrycznymi

W tym rozdziale:

- Zagrożenia o charakterze elektrycznym
- Zagrożenia o charakterze termicznym
- Zagrożenia o charakterze chemicznym
- Zagrożenia o charakterze mechanicznym
- Zagrożenia różne i inne sytuacje zagrożeniowe

Występowaniu urządzeń elektroenergetycznych wokół człowieka towarzyszą związane z tym liczne zagrożenia, niekiedy lekceważone czy niedoceniane, a czasami wręcz stwarzane wskutek niewłaściwego postępowania. Osobami narażonymi są przede wszystkim, z oczywistych względów, operatorzy czy konserwator, ale także bywają także i osoby postronne zbliżające się do urządzenia. Sytuacje zagrożeniowe mogą występować stale (np. podczas pozostawiania urządzenia przyłączonego do źródła zasilania czy przy jego stanie pracy), niekiedy okresowo (np. podczas uzupełniania materiałów eksploatacyjnych) lub tylko sporadycznie (np. podczas dokonywania czynności konserwacyjnych wiążących się z otwieraniem obudowy).

Zagrożenia występujące przy urządzeniach elektroenergetycznych mogą mieć różny charakter i chociaż na ich czele wymienić należy przede wszystkim te, które są natury elektrycznej, to nie można pomijać zwłaszcza termicznych, chemicznych i mechanicznych, których podłożem jest obecność energii elektrycznej. Ponadto niekiedy trudno jest wyraźnie je rozdzielić, gdyż pewne zjawiska mogą być przyczynami jednych, a skutkami drugich, bądź niekiedy występują razem – przydatna tu bywa analogia do analizy wypadków, gdyż zazwyczaj okazuje się, że splatają się w nich przyczyny: techniczne, organizacyjne i ludzkie, a scenariusze poszczególnych zdarzeń niekiedy bywają nieprawdopodobnie złożone.

4.1. Zagrożenia o charakterze elektrycznym

4.1.1. Porażenie i oparzenie prądem elektrycznym

Należy je uznać za najistotniejsze, a więc konieczne do szczegółowego omówienia w dalszej części materiału.

4.1.2. Oddziaływanie łuku elektrycznego

Nieprzewidywalność zapłonu łuku i trudność w jego zgaszeniu, w połączeniu z wysoką gęstością energii i

temperaturą rzędy tysięcy kelwinów, czynią z niego niezmiernie niebezpieczne zjawisko. Oddziaływanie łuku na człowieka prowadzi do licznych urazów: od spalenia lub zwęglenia tkanek w miejscu wnikania w ciało, przez uszkodzenie narządu wzroku w wyniku promieniowania (podczerwonego, nadfioletowego), po metalizację skóry i gałek ocznych stygnącymi kroplami roztopionego metalu i materiału izolacyjnego, a ponadto możliwe są urazy mechaniczne spowodowane rozrzuceniem odłamków urządzenia czy upadkiem. Do zapłonu łuku może dojść przykładowo w następujących okolicznościach:

a) możliwe przyczyny: naruszenie minimalnej odległości bezpieczeństwa podczas zbliżania się człowieka do części pod napięciem (zwłaszcza w urządzeniu wysokonapięciowym), manipulowanie w bliskości części pod napięciem, dokonywanie niewłaściwych/omyłkowych czynności łączeniowych; możliwe skutki: wywołanie przez człowieka zwarcia łukowego

b) możliwe przyczyny: przerwanie ciągłości obciążonego obwodu elektrycznego (przez analogię do procesu spawania elektrycznego), dokonywanie niewłaściwych/omyłkowych czynności łączeniowych (zwłaszcza z użyciem aparatów nieodpowiednich do przerywania prądów roboczych/zwarciovych); możliwe skutki: wywołanie przez człowieka zapłonu łuku

c) możliwe przyczyny: przebicie elektryczne izolacji wskutek jej degradacji lub wystąpienia przepięcia, przypadkowe zbliżenie się metalowych przedmiotów do części pod napięciem, pokrycie powierzchni izolacji warstwą zanieczyszczeń lub przewodzącego pyłu (np. wskutek starcia/zużycia elementów stykowych); możliwe skutki: samoistne powstanie wyładowania łukowego

4.1.3. Oddziaływanie ładunków elektrostatycznych

Występowanie zjawisk elektrostatycznych obserwowane jest w szczególności w środowisku sprzyjającym elektryzacji, czyli tam, gdzie występują dielektryki i wzajemnie przemieszczają się ciała, bądź możliwe jest indukowanie

ładunków. Oprócz bezpośredniego oddziaływania ładunków na ludzi, odbieranego jako dyskomfort, stres czy szok przy odczuwaniu ich obecności, poprzez możliwy uraz mechaniczny w chwili mimowolnego ruchu, aż po zejście śmiertelne wskutek porażenia lub wybuchu w chwili wyładowania, możliwe jest także uszkodzenie urządzeń (np. AKP czy sterowania procesami technologicznymi) w momencie wystąpienia wyładowania. Prowadzić to może do różnych strat (np. materiałów, surowców lub wyrobów), uszkodzenia czułych urządzeń zawierających półprzewodniki, zakłócenia funkcjonowania maszyn czy linii technologicznych poprzez wpływ pola elektrostatycznego, a nawet wręcz ich niewłaściwego działania (np. niebezpieczeństwo niespodziewanego rozruchu) powodującego uraz.

4.1.4. Oddziaływanie zjawisk atmosferycznych i procesów łączeniowych

Oprócz ewidentnych możliwości:

-porażenia człowieka w chwili wystąpienia niebezpiecznego napięcia dotykowego (na obudowach urządzeń i elementach konstrukcyjnych budynku i na jego wyposażeniu) lub krokowego (na powierzchni podłóg i na gruncie) przy urządzeniach elektroenergetycznych lub w pobliżu trafionego piorunem obiektu – wskutek rozplywu prądu piorunowego, a także wskutek przebicia elektrycznego materiału ścian (przy zbliżeniu części instalacji odgromowej do uziemionych przedmiotów wewnątrz budynku),

-uszkodzenia izolacji w urządzeniach elektroenergetycznych wystawionych na bezpośrednie oddziaływanie wyładowań atmosferycznych, jak np. napowietrznych linii przesyłowych, urządzeń wentylacyjno-klimatyzacyjnych na dachu budynku, ale także i kabli ułożonych w ziemi w pobliżu uziomu instalacji odgromowej,

-wystąpienia zagrożeń mechanicznych i termicznych, takich jak np. rozsądzenie kominów, przepalenie blach pokrycia dachu, wnikanie kropeł rozżarzonego materiału

pod połąć dachu, nagrzewanie elementów konstrukcyjnych budowli, zapalenie przedmiotów w sąsiedztwie elementów konstrukcyjnych i części instalacji odgromowej,

- wywołania pożaru wskutek iskrzenia i przepływu prądów błędzących – spowodowanych indukowaniem ładunków elektrostatycznych przez wyładowanie elektrostatyczne,

należy tu także wymienić niezmiernie istotne zagrożenia spowodowane indukowaniem przepięć pochodzenia atmosferycznego w rozmaitych obwodach elektrycznych. Przepięcie należy rozumieć jako przejściowy (udarowy) wzrost chwilowej wartości napięcia pomiędzy np. dwoma przewodami, znacznie przewyższający poziom napięcia roboczego (podczas normalnej pracy), co prowadzi do naprężania izolacji skutkującego - natychmiast lub po pewnym czasie - jej przebiciem i zniszczeniem. Sprzyja temu coraz większa wrażliwość urządzeń ze względu na wzrastający stopień ich skomplikowania, co prowadzi do postawiania w nich niebezpiecznych uszkodzeń - obserwowanych z reguły tym częściej, im wyższe jest ich nasycenie wyposażeniem elektronicznym. Szkody mogą powstawać w czułym sprzęcie: w komputerach, w urządzeniach: RTV, telekomunikacyjnych i transmisji danych, w aparaturze: AKP, sterowniczej, elektromedycznej, itp. - głównie na skutek przebicia w elementach półprzewodnikowych, ale niekiedy także i w tradycyjnych instalacjach oraz odbiornikach. Skutkami mogą być zakłócenia funkcjonowania, trwałe i kosztowne uszkodzenia elementów czy całych podzespołów, aż po przebicia izolacji powodujące porażenie ludzi czy wywołanie pożaru lub wybuchu. Przepięcia takie bywają obserwowane nie tylko w pobliżu kanału wyładowania atmosferycznego, ale także w odległości rzędu setek metrów lub nawet kilometrów od miejsca trafienia. Podobny skutek miewają przepięcia pochodzenia łączeniowego, generujące się samoistnie podczas pracy urządzeń elektroenergetycznych (zwłaszcza podczas przerywania prądu w obwodach o charakterze indukcyjnym).

4.2. Zagrożenia o charakterze termicznym

Wśród tych zagrożeń wymienić trzeba głównie możliwość oparzenia ciała człowieka gorącym przedmiotem. Oprócz zdarzeń o ewidentnych skutkach, wynikających z dotknięcia do nagrzanego normalnie elementu (np. źródła światła, sprzętu AGD) lub styczności ze spawanymi materiałami czy rozpryskiwanymi iskrami, rozpatrywać należy przede wszystkim sytuacje, w których prawdopodobieństwo wystąpienia ciężkich urazów jest znaczące – może to być wystąpienie pożaru czy zainicjowanie wybuchu, prowadzące do ciężkiego poparzenia lub utraty życia. Nie należy przy tym lekceważyć możliwych urazów spowodowanych utrudnieniami podczas ewakuacji. Przykładowe scenariusze powstania sytuacji zagrożeniowej mogą być następujące:

a) możliwe przyczyny: degradacja własności materiału izolacji lub wyeksploatowanie urządzenia, niewłaściwa budowa urządzenia (np. brak/nieskuteczność zabezpieczeń przed zwarciami) lub jego eksploatacja (prowadzenie prac bez odłączenia napięcia, pomyłki łączeniowe, manipulowanie w pobliżu części pod napięciem); możliwe skutki: wywołanie przez człowieka zwarcia lub samoistne powstanie zwarcia (zwanego „pełnym”), prowadzącego do intensywnego wydzielania się ciepła w obwodzie i gwałtownego wzrostu temperatury toru prądowego i izolacji (pogarszającego właściwości materiału przewodowego i zestyków) – aż do zapalenia się izolacji czy stykających się z nią przedmiotów

b) możliwe przyczyny: degradacja własności materiału izolacji wskutek wyeksploatowania urządzenia bądź niewłaściwej jego budowy (np. nieodporność na narażenia od agresywnych środków chemicznych, ekstremalnych temperatur, promieniowania słonecznego lub nadfioletu) czy eksploatacji (poddawanie wibracjom, zawilgoceniu); możliwe skutki: powstanie upływu prądu z obwodu pod napięciem (czyli tzw. zwarcia „tępego”), prowadzącego do stałego wydzielania się ciepła w izolacji i powolnego wzrostu jej temperatury, skutkującego dalszą degradacją

– aż do jej wypalenia lub przerodzenia się w zwarcie „pełne”

c)możliwe przyczyny: niewłaściwa budowa urządzenia (np. brak/nieskuteczność zabezpieczeń przed przeciążeniem) lub jego eksploatacja (przyłączanie odbiorników o nadmiernym poborze mocy, zanieczyszczenie radiatorów silnika, przeciążanie mechaniczne napędów, asymetria napięć fazowych trójfazowego układu zasilania silników), pogorszenie oddawania/rozpraszania ciepła (ułożenie przewodów w sąsiedztwie materiałów utrudniających przepływ ciepła, eksploatowanie przedłużaczy bez rozwinięcia z bębna); możliwe skutki: wystąpienie przeciążenia obwodu (przetężenia) lub silnika, prowadzącego do uszkodzenia termicznego izolacji (jej degradacji czy wykruszenia, wypalenia) i wypalenia styków wskutek nadmiernego wydzielania się ciepła w obwodzie

d)możliwe przyczyny: niewłaściwa budowa urządzenia zawierającego elementy grzejne (np. brak/nieskuteczność regulatora mocy bądź ogranicznika temperatury) lub jego eksploatacja (praca bez nadzoru, ustanie cyrkulacji lub ubytek czynnika odbierającego ciepło, błędne nastawy), umieszczenie źródła ciepła/promieniowania w zbyt małej odległości od niebezpiecznych materiałów; możliwe skutki: wystąpienie niekontrolowanego wzrostu temperatury (przegrzania), prowadzącego do uszkodzeniem elementów i skutkującego pożarem

e)możliwe przyczyny: niewłaściwa budowa urządzenia (np. niewłaściwy dobór materiałów stykowych, utlenienie zestyków lub poluznienie ich docisku powiększające rezystancję przejścia) lub jego eksploatacja (brak regularnej konserwacji, stosowanie przypadkowych materiałów/rozwiązań); możliwe skutki: nagrzewanie się elementów toru prądowego i zestyków, prowadzące do ich wypalania, uszkodzenia termicznego izolacji, rozżarzania czy iskrzenia - skutkujące pożarem i/lub zwarcie.

4.3. Zagrożenia o charakterze chemicznym

Zagrożenie przeważnie występuje w chwili powstania pożaru i/lub wybuchu.

a) możliwe przyczyny: zapalenie się elementów wykonanych z tworzyw sztucznych (np. izolacji, osprzętu – zwłaszcza wykonanych z odmian polichlorku winylu) lub oleju służącego jako izolacja (np. w transformatorach, przekładnikach, wyłącznikach, kondensatorach) - wydzielających toksyczne substancje, jak opary kwasu solnego, PCB, itp.;

b) możliwe skutki: oparzenie chemiczne ciała (w szczególności dróg oddechowych, gałek ocznych, itd.), zatrucie produktami spalania prowadzące do zejścia śmiertelnego

4.4. Zagrożenia o charakterze mechanicznym

Zagrożenia te są często niezauważane bądź odsuwane na dalszy plan, jako nieistotne w zestawieniu z tymi o charakterze elektrycznym, zwłaszcza gdy porównuje się możliwą ciężkość urazów. Jednakże nie można pomijać ich całkowicie, w czym utwierdza nas europejska koncepcja zapewnienia bezpieczeństwa. Oprócz ewidentnych urazów, jakie człowiek może odnieść np. wskutek kontaktu z ostrą krawędzią obudowy urządzenia lub w wyniku hipotetycznego wypadku przygniecenia spadającym elementem słupa napowietrznej linii elektroenergetycznej, należy przede wszystkim rozpatrywać urazy i szkody, jakie mogą spowodować urządzenia przeważnie klasyfikowane jako maszyny, czyli posiadające ruchome elementy. Najczęściej mogą to być: uderzenia, skaleczenia, zgniecenia, obcięcia, itp. - jakie spowodowane bywają niespodziewanym rozruchem lub niepoprawną pracą urządzenia, niewłaściwym kierunkiem ruchu napędu, czy niemożliwością zatrzymania

niebezpiecznego ruchu. Przykładowe scenariusze powstania sytuacji zagrożeniowej mogą być następujące:

a) możliwe przyczyny: chwilowe obniżenie się wartości napięcia zasilania lub zanik napięcia jednej z faz układu zasilania (tzw. asymetria napięć fazowych) - powodujące zatrzymanie ruchu napędu, po czym niespodziewany jego powrót; możliwe skutki: nagły samorozruch napędu, skutkujący np. urazem u człowieka, zniszczeniem narzędzia lub materiału

b) możliwe przyczyny: przyłączenie maszyny przenośnej/przewoźnej do trójfazowych gniazd wtykowych, w których występuje różna kolejności następstwa faz; możliwe skutki: odwrócenie kierunku wirowania napędu, mogące w niektórych maszynach skutkować jego zablokowaniem i uszkodzeniem (w szczególności mechanicznym) - aż do wyrzutu odłamków narzędzia, elementów konstrukcyjnych czy materiału, powodujących uraz

c) możliwe przyczyny: wystąpienie niebezpiecznego stanu/ruchu maszyny - niemożliwego do zatrzymania wskutek braku, nieskuteczności lub niedostępności urządzenia do zatrzymywania/wyłączania awaryjnego (wym. wcześniej „stopu awaryjnego”); możliwe skutki: wystąpienie urazu, uszkodzenie maszyny bądź jej narzędzia i/lub materiału

d) możliwe przyczyny: wystąpienie potrzeby zatrzymania/unieruchomienia napędu bądź konieczności odłączenia od napięcia zasilania maszyny lub fragmentu jej wyposażenia elektrycznego na czas jej postoju, niesprawności czy konserwacji - niemożliwych do wykonania wskutek braku lub niedostępności urządzenia do zatrzymywania (tzw. „stopu roboczego”) albo urządzenia do odłączenia od zasilania (np. głównego rozłącznika izolacyjnego, rozłącznika konserwacyjnego); możliwe skutki: brak stanu jednoznacznego zatrzymania mechanizmu, rozruch/załączenie zasilania omyłkowo bądź przez osoby nieupoważnione – skutkujące np. urazem podczas wykonywania czynności eksploatacyjnych

e) możliwe przyczyny: nadmierny (niekontrolowany) wzrost prędkości obrotowej silników po zmniejszeniu momentu hamującego (w niektórych silnikach prądu stałego); możliwe skutki: uszkodzenie elementów napędu wskutek działania siły odśrodkowej (rozerwanie), mogące skutkować urazem w wyniku wyrzutu odłamków narzędzia czy elementów konstrukcyjnych

4.5. Zagrożenia różne i inne sytuacje zagrożeniowe

Wśród zagadnień nie dających się jednoznacznie skojarzyć z konkretnym z wymienionych zagrożeń, wymienić należy często obserwowane występowanie sytuacji zagrożeniowych, u przyczyn których leży brak informacji o urządzeniu i ostrzeżeń z nim związanych. Dane takie być zawarte w dokumentacji technicznej [48], podającej opis urządzenia, przeznaczenie i zakres zastosowania, a także ograniczenia założone przez konstruktora czy zastosowania niedozwolone. Ponadto, w zależności od stopnia skomplikowania, użyteczne bywają schematy, wykaz podstawowych parametrów, informacje i ostrzeżenia dot. eksploatacji oraz wskazówki dla utrzymania urządzenia w poprawnym stanie technicznym (przeglądy, badania i pomiary). Istotnym elementem informacji o urządzeniu są także piktogramy umieszczone na elementach sygnalizacyjnych i sterowniczych, tabliczki znamionowe i opis elementów wyposażenia elektrycznego. Niekiedy brak lub niekompletności dokumentacji technicznej towarzyszącej urządzeniu jest wynikiem zaniedbań, ale nadzwyczaj często ma miejsce przy zakupie okazji „z drugiej ręki”, odzyskiwaniu urządzeń ze złomowisk, a nawet eksploatacji wyrobów wyprodukowanych sposobem gospodarskim. Prowadzi to czasami do różnych sytuacji zagrożeniowych, spowodowanych nieodpowiednim użytkowaniem, brakiem możliwości poprawnego nastawienia parametrów czy trudnością w zinterpretowaniu wyników badań i pomiarów.

Innym zagadnieniem jest niewłaściwa jakość energii dostarczanej do urządzenia – rozumiana głównie jako dokuczliwe lub szkodliwe zaniki napięcia zasilania oraz niepożądana zawartość wyższych harmonicznych prądów i napięć, powodująca szkodliwe nagrzewanie się urządzeń przesyłowych i odbiorników [83]. Oprócz oczywistego utrudnienia podczas ewakuacji czy przy zwalczaniu pożaru, zanik napięcia zasilania jest dla współczesnych odbiorów dużym wyzwaniem, gdyż wiąże się np. z utratą danych przetwarzanych przez systemy komputerowe, przerwaniem transmisji w urządzeniach telekomunikacyjnych, stratami produkcyjnymi – aż po możliwość spowodowania urazu, jak np. przy stosowaniu sprzętu elektromedycznego w obiektach służby zdrowia czy elektromagnesów zainstalowanych w suwnicach pracujących w przemyśle hutniczym.

5

Ograniczanie ryzyka związanego z zagrożeniami o charakterze elektrycznym

W tym rozdziale:

- Zjawisko porażenia prądem elektrycznym
- Ochrona przeciwporażeniowa
- Ochrona antyelektrostatyczna
- Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa

5.1. Zjawisko porażenia prądem elektrycznym

Przedstawiając zjawisko w uproszczeniu można stwierdzić, iż z fizycznego punktu widzenia bezpośrednie rażenie prądem występuje w chwili jednoczesnego dotknięcia przez człowieka do dwóch punktów znajdujących się pod różnymi potencjałami elektrycznymi - czyli pomiędzy którymi występuje napięcie, zwane dotykowym [70] [73]. Warunkiem koniecznym jest przy tym zamknięcie się obwodu rażeniowego. W praktyce, zależnie od części ciała człowieka stykającej się z elektrodami tego obwodu, prąd rażeniowy najczęściej przepływa na drodze: ręka-tułów, ręka-ręka, ręka-noga. Wariantem może również być droga: noga-noga – wówczas, gdy ofiara stąpa dwiema stopami po przewodzącym podłożu (np. po powierzchni ziemi, po metalowym pomoście, po betonowej podłodze), w którym ma miejsce przepływ prądu, spowodowany wystąpieniem zwarcia doziemnego lub uderzeniem pioruna – wówczas mówimy o wystąpieniu napięcia krokowego.

Bezpośredni przepływ prądu odczuwalny bywa przez człowieka jako uczucie bólu, mrowienie w miejscu styku z elektrodą i niekiedy skurcz mięśni, a w cięższych przypadkach towarzyszą temu zaburzenia widzenia, słyszenia i równowagi, a nawet utrata świadomości. W krańcowych przypadkach dochodzi do zejścia śmiertelnego, najczęściej wskutek fibrylacji komór serca. Zespół tych zjawisk w medycynie nazywany jest tzw. skutkami patofizjologicznymi, czyli wystąpieniem w tkankach ciała zmian: biologicznych, chemicznych, a nawet fizycznych, które są związane z zakłóceniem pracy układu nerwowego, krążenia i oddechowego. Przykładowo literatura przytacza, na użytek zastosowań technicznych elektryczności, następujące reakcje człowieka na rażenie prądem przemiennym 50 Hz o podanej wartości, jako uznane za typowe dla miarodajnego odsetka populacji ludzkiej [61]:

0,5 mA – wartość progową odczuwania (percepcji), poniżej której przepływ prądu pomiędzy lewą ręką a stopami może nie być zauważalny,

10 mA – wartość progowa prądu samowolnienia – powyżej której występuje mimowolny skurcz mięśni, np. powodujący zaciskanie się dłoni na trzymanym przedmiocie (gdy jest to element pod napięciem – to może dojść do zwiększenia powierzchni styku, a w konsekwencji wzrost wartości prądu),

30 mA – początek fibrylacji komór serca i paraliżu dróg oddechowych – przy której to wartości obserwuje się wzrost zależności skutków rażenia od jego czasu trwania,

1 A – zatrzymanie akcji serca i krążenia krwi - jako bezpośrednio prowadzące do zgonu,

5 A - oparzenia powierzchniowe wskutek oddziaływania termicznego - od blizn w miejscu wnikania prądu rażeniowego w ciało do miejscowego spalania skóry, a także uszkodzenia - wskutek silnego nagrzania - organów wewnętrznych (włącznie z martwicą tkanek).

Ponadto po długim czasie od rażenia bywają obserwowane różne dysfunkcje: sztywność kończyn, głuchota, ślepotą, zaburzenia mowy, nawracający stres, zaburzenia rytmu serca, itp.

Rzeczywista ciężkość urazów spowodowanych bezpośrednim przepływem prądu zależy liczyli czynników o losowym charakterze, wśród których jako najistotniejsze wymieniane są:

- charakterystyczne parametry rażenia: rodzaj prądu (przebiegienny, stały, czy impulsowy), wartość natężenia, czas trwania rażenia,

- droga przepływu przez ciało człowieka (należy zwrócić uwagę, iż w praktyce najcięższe skutki bywają podczas przepływu prądu przez okolicę serca, czyli przy udziale lewej ręki w obwodzie rażeniowym),

- wartość rzeczywistego napięcia dotykowego, mająca związek z wartością napięcia, pod jakim znajduje się urządzenie i z charakterem ewentualnego uszkodzenia,
- stan psychofizyczny (kondycja) człowieka w chwili wypadku.

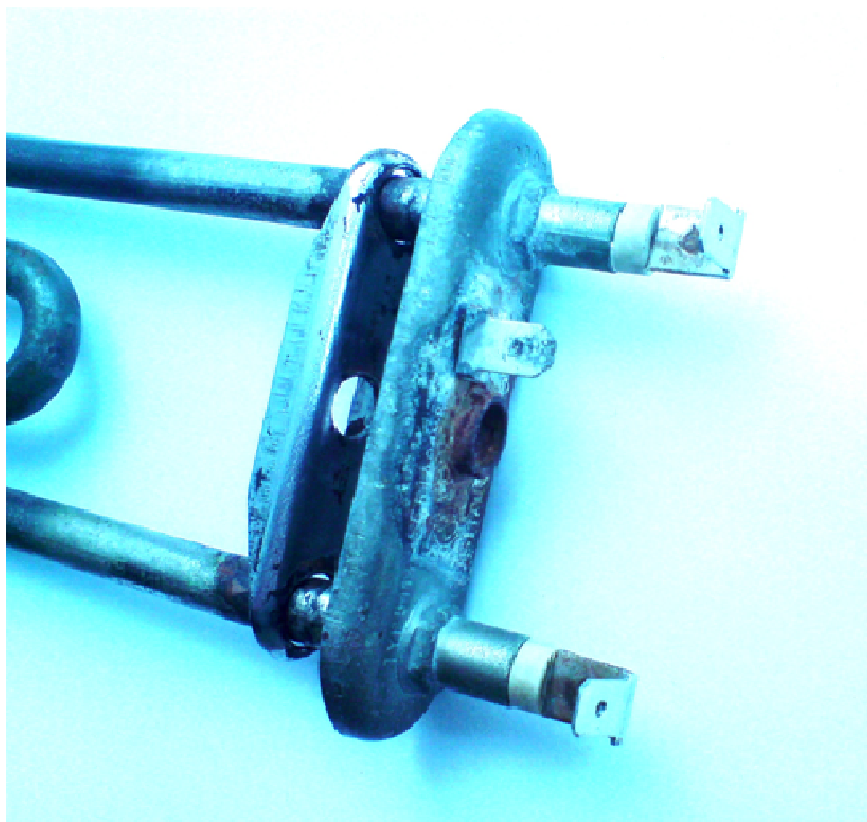
Ostatni z wymienionych czynników ma istotny wpływ na wartość impedancji ciała i jest indywidualnym i trudnym do określenia parametrem, gdyż wartość impedancji niektórych części ciała (jak naskórek) zmienia się w znacznych granicach i zależy od temperatury otoczenia i od podwyższonej wilgotności środowiska. Spowodowane to może być np. zarówno występowaniem wody, ale też wskutek spocenia, będącego wynikiem przybrania wymuszonej pozycji ciała przy wykonywaniu pracy. Ponadto stan wyczerpania organizmu, stresu, choroby, wpływu alkoholu lub podobnie działających czynników również obniża wypadkową wartość tej impedancji. Przyjmuje się w uproszczeniu, że dla reprezentatywnej próbki populacji ludzi dorosłych, impedancja ciała ludzkiego przy napięciu dotykowym rzędu 230 V o częstotliwości 50 Hz, ma wartość większą od 1000 Ω w warunkach normalnych (przy suchym naskórku) i mniejszą od 1000 Ω przy występowaniu wilgoci.

Omawiając mechanizm porażenia, należy także rozpatrywać możliwość oddziaływania pośredniego na organizm człowieka, do jakiego dochodzi bez przepływu prądu rażeniowego, czyli np. w chwili wystąpienia zwarcia w pobliżu urządzeniu, co może spowodować uraz termiczny polegający na przegrzaniu (opaleniu) ciała człowieka. Ponadto należy wspomnieć o możliwości wystąpienia urazu mechanicznego, spowodowanego np. upadkiem z wysokości, upuszczeniem przedmiotu trzymanego podczas pracy lub nawet wykonaniem mimowolnego ruchu. Natomiast szczególnym rodzajem wypadku jest tzw. rażenie skojarzone, czyli rażenie wraz z wystąpieniem wyładowania łukowego do ciała lub w jego pobliżu, co opisano wcześniej.

Należy zauważyć, iż podczas wypadków przy urządzeniach wysokonapięciowych skutki patofizjologiczne bywają z reguły cięższe, niż przy niskonapięciowych, a

dotatkową okolicznością jest możliwość niespodziewanego wystąpienia wyładowania łukowego w powietrzu, zazwyczaj rozwijającego się w zwarcie wielofazowe. Do zapłonu łuku dochodzi przy niezachowaniu minimalnej odległości zbliżenia, czyli przy naruszeniu izolacyjnego odstępu od niebezpiecznej części czynnej. Jest to m.in. powodem ograniczania osobom postronnym dostępu do urządzeń wysokonapięciowych i powierzenia eksploatacji wykwalifikowanemu personelowi, pracującemu według określonych procedur.

Każde urządzenie elektroenergetyczne zawiera metalowe części, które z punktu widzenia teorii rażenia dzielimy na następujące grupy [53] [79]:



Rys. 4. Części czynne i części przewodzące części dostępne na przykładzie grzałki

Widoczne zaciski przyłączeniowe przewodów na zakończeniach drutu oporowego oraz zacisk ochronny na metalowym korpusie.

- części czynne - elementy, które w warunkach normalnych przeznaczone są do pracy pod napięciem; w praktyce są to: szyny zbiorcze urządzeń zasilających i rozdzielczych (rozdzielnic, tablic bezpiecznikowych, itp.), żyły fazowe i neutralne przewodów i kabli (lecz nie ochronno-neutralne), zaciski przyłączeniowe, elementy stykowe zestawów wtyczka-gniazdo, uzwojenia maszyn i aparatów (prądnic, transformatorów, silników, przekaźników), drut oporowy grzałek, itp.;

niebezpieczna część czynna jest to część czynna znajdująca się pod niebezpiecznym napięciem, a więc może być źródłem porażenia; w urządzeniach wysokonapięciowych niebezpieczne napięcie może pojawić się także na powierzchni izolacji stałej, dlatego taką powierzchnię można uznać za niebezpieczną część czynną;

- części przewodzące dostępne - elementy, które mogą być dotknięte i nie są normalnie pod napięciem, lecz które mogą się znaleźć pod napięciem gdy zawiedzie izolacja podstawowa; w praktyce są to: obudowy urządzeń zasilających i rozdzielczych (szafy, skrzynki), pancerze kabli, kadzie transformatorów, korpusy zasilanych energią elektryczną odbiorników (maszyn i silników, sprzętu komputerowego, opraw oświetleniowych, itd.), pulpity sterownicze, osłony tablic/wnęć w urządzeniach (pokrywy, drzwiczki), itp.,

- części przewodzące obce - elementy, które nie stanowią części urządzenia elektrycznego, lecz mogą wprowadzić (przyjmować) pewien potencjał, którym zwykle bywa potencjał ziemi; w praktyce są to: elementy konstrukcyjne budowli (np. stalowe/żelbetowe słupy i fundamenty), elementy wyposażenia budowli (pokrycia elewacji, drabiny, klapy włazów, okna i drzwi), metalowe instalacje nieelektryczne (rurociągi, grzejniki), itp.

Występowanie tych części w urządzeniu przekłada się na możliwe scenariusze rażenia prądem - zasadniczo wyróżnia się przy tym następujące (niezależnie od porażenia w wyniku występowania napięcia krokowego):

A. Dotyk bezpośredni, będący z definicji kontaktem człowieka z częściami czynnymi; w praktyce dochodzi do niego, gdy człowiek zamyka obwód rażeniowy dotykając jednocześnie do dwóch różnych części czynnych albo stojąc na przewodzącym podłożu dotyka do części czynnej; w rzeczywistości dochodzi do niego przede wszystkim w wyniku nieprzestrzegania zasad bezpieczeństwa podczas eksploatacji urządzeń elektrycznych (np. pozostawiania niezamkniętych obudów, pracy urządzeń niekompletnych) lub błędów personelu (np. omyłkowej zamiany przewodów); należy tu zwrócić uwagę na zagrożenie spowodowane wynoszeniem na zewnątrz urządzenia niebezpiecznego potencjału części czynnych przez wodę i obce metalowe przedmioty wnikające w niekontrolowany sposób do wnętrza obudowy; w urządzeniach wysokonapięciowych, z podanych wyżej względów, już samo przekroczenie granicy strefy niebezpiecznej (czyli powierzchni ograniczonej przez minimalny odstęp izolacyjny od niebezpiecznych części czynnych) uznaje się za równoważne z ich dotknięciem; w przypadku występowania w urządzeniu elementów pojemnościowych, które gromadzą ładunek elektryczny – takich, jak: kondensatory, żyły długich kabli, uzwojenia transformatorów – rażenie człowieka może wystąpić nawet już po odłączeniu od napięcia, a w chwili dotknięcia do nierozładowanych części czynnych (na których występuje tzw. napięcie szczątkowe);

B. Dotyk pośredni, będący z definicji kontaktem człowieka z częściami przewodzącymi dostępnymi, które w stanie zakłócenia znalazły się pod napięciem; w praktyce dochodzi do niego, gdy człowiek zamyka obwód rażeniowy stykając się jednocześnie z dwiema częściami przewodzącymi (dostępnymi lub obcymi), z których przynajmniej jedna niespodziewanie znalazła się pod napięciem dotykowym wskutek wystąpienia uszkodzenia

w rozpatrywanym urządzeniu (np. zwarcia doziemnego spowodowanego przebiciem elektrycznym izolacji) lub zakłócenia (np. rozplywu prądu błędzącego wskutek wystąpienia zwarcia w innym urządzeniu lub wyładowania atmosferycznego);

Praktyka wykazuje, że najcięższe możliwe skutki patofizjologiczne (czyli zejście śmiertelne, np. w wyniku fibrylacji komór serca) obserwowane są przy urządzeniach elektroenergetycznych, natomiast w większości sytuacji one bywają pomijalne przy rażeniu od urządzeń zasilanych bardzo niskim napięciem (czyli takich, jak: instalacje logiczne, teletechniczne, CCTV, przeciwpożarowe/DSO, itp.). Funkcjonujące w normach pojęcie zakresów napięciowych [59] wytycza wyraźną granicę – mianowicie przebiega ona na poziomie 50 V prądu przemiennego i 120 V prądu stałego. Wartość ta, będącą górną granicą napięcia długotrwale dopuszczalnego UL (tzn. takiego, z którym człowiek może się stykać bez obawy o wystąpienie skutków patofizjologicznych), jest odpowiednia dla normalnych (suchych) warunków środowiskowych, a obniża się ją odpowiednio do 25 V i 60 V przy występowaniu warunków szczególnych (tzn. wilgoć i/lub przewodzące środowisko), albo odpowiednio do 12 V i 30 V przy warunkach specjalnych (gdy występuje kontakt z wodą). Urządzenia elektroenergetyczne, jako zasilane napięciami powyżej tej granicy, muszą być wyposażone w rozwiązania techniczne zwane środkami ochrony przeciwporażeniowej [49].

5.2. Ochrona przeciwporażeniowa

Najprostszą formą ochrony przed porażeniem, od zarania elektryfikacji, były tzw. nietechniczne środki ochrony, czyli zespół rozwiązań głównie o charakterze organizacyjnym, z założeniami mających na celu zapobieganie powstaniu sytuacji zagrożeniowej. W szczególności mają one na celu:

- a) uświadomienie istnienia zagrożeń – poprzez działania poczynając od zapewnienia przeszkolenia personelu i stawiania wymagań co do jego kwalifikacji dla uzyskania

odpowiednich zachowań, aż do różnych form ostrzegania i informowania o występujących zagrożeniach,

b) zapewnienie bezpieczeństwa eksploatacji poprzez:

- opracowywanie instrukcji i egzekwowanie wypełniania ich postanowień,

- stosowanie odpowiedniego systemu organizacji i prowadzenia prac (w szczególności ustanowienie stanowisk: poleceńdawcy, koordynującego, dopuszczającego, nadzorującego wraz z określeniem ich obowiązków), a także stosowanie procedur (np. pracy na polecenie, przygotowania miejsca pracy, dopuszczenia do pracy i zakończenia jej) [3],

- powierzanie eksploatacji pracownikom z uprawnieniami odpowiednimi do zakresu prowadzonych prac i rodzaju obsługiwanego urządzenia oraz poziomu napięcia.

Skuteczność nietechnicznych środków ochrony zależy od czynnika ludzkiego, więc praktyczne ich stosowanie dopuszczone jest tylko w sytuacji, w której ze względu na obecność wykwalifikowanego personelu gwarantowane jest ściśle dotrzymanie procedur, np. w elektrowniach i spółkach dystrybucyjnych, w pionach energetycznych zakładów przemysłowych, w laboratoriach [30]. W pozostałych sytuacjach, czyli wszędzie tam, gdzie dostęp do urządzenia mogą mieć osoby nie będące wykwalifikowanymi elektrykami, konieczne jest zastosowanie tzw. technicznych środków ochrony, czyli odpowiednich rozwiązań „wbudowanych w urządzenie”, odpornych na próby zneutralizowania czy podobnych poczynań.

Podstawowa zasada ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym [49], ustalona na potrzeby budowy i eksploatacji współczesnych urządzeń elektroenergetycznych, stanowi co następuje:

- niebezpieczne części czynne powinny być niedostępne,
- części przewodzące dostępne nie powinny być niebezpieczne – zarówno w warunkach normalnych (czyli

przy braku uszkodzenia), jak i w przypadku wystąpienia pojedynczego uszkodzenia.

W praktyce oznacza to konieczność zastosowania zestawu odpowiednio dobranych technicznych środków ochrony przeciwporażeniowej w każdym urządzeniu elektroenergetycznym. Środki ochrony podstawowej (zwanej ochroną przed dotykiem bezpośrednim) stosuje się dla wyeliminowania możliwości porażenia człowieka wskutek dotknięcia przez niego do niebezpiecznych części czynnych. Natomiast środki ochrony dodatkowej (zwanej ochroną przed dotykiem pośrednim lub ochroną przy uszkodzeniu) mają za zadanie niedopuszczenie do wystąpienia skutków patofizjologicznych u człowieka w chwili wystąpienia pojedynczego uszkodzenia w rozwiązaniach zapewniających ochronę podstawową. Zestaw ów musi zawierać pierwszy ze środków - zapewniający ochronę podstawową - i niezależny od niego drugi - który zapewnia ochronę w chwili wystąpienia uszkodzenia, albo jeden środek ochrony wzmocnionej o efektywności porównywalnej z taką jak dla środków niezależnych. Przy doborze środków ochrony, oprócz przestrzegania postanowień odpowiednich norm (zawierających obostrzenia co do budowy i możliwe ograniczenia zastosowania), należy każdorazowo uwzględniać okoliczności wynikające z wpływu rzeczywistych czynników środowiskowych, a przede wszystkim:

- impedancji ciała ludzkiego (zależnej od temperatury otoczenia i występowania wilgoci czy wody),
- możliwości kontaktu człowieka z potencjałem ziemi oraz opisanej wcześniej kwestii kwalifikacji personelu.

Należy zwrócić uwagę, że równoczesną ochronę przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim w niektórych urządzeniach może zapewniać zasilanie ich bardzo niskim napięciem [49], przy czym obwarowane jest to ostrymi wymaganiami co do rodzaju źródła zasilania i budowy obwodu (np. wg [36] [54]). Wysoka skuteczność tego rozwiązania przemawiałaby za wykorzystaniem jego wszędzie tam, gdzie ma miejsce korzystanie z odbiorników energii elektrycznej w warunkach zwiększonego ryzyka porażenia, czyli zwłaszcza w

miejscach wilgotnych, ciasnych, ograniczonych metalowymi powierzchniami (np. np. wewnątrz kotłów, maszyn studzienek, w węzłach cieplnych, przepompowniach, itp.). Jednakże względy praktyczne (tzn. niewielka moc urządzeń) poważnie ograniczają możliwości zastosowania bardzo niskiego napięcia, co sprawia, że chętnie używa się go tylko w obwodach sterowniczych i sygnalizacyjnych, w zastosowaniach specjalnych (np. w UPS-ach, w sprzęcie elektromedycznym) oraz do zasilania niewielkich odbiorników takich, jak: siłowniki i podobne elementy wykonawcze do nastawiania urządzeń, opraw miejscowego oświetlenia stanowiska pracy, itp.

Uwaga praktyczna:

Niekiedy obwody zasilane takim napięciem oznacza się skrótami: SELV i PELV (ew. FELV) – w zależności od braku albo występowania w nich uziemienia.

Natomiast przy prowadzeniu prac kontrolno-pomiarowych i remontowych, kiedy konieczne jest zawieszenie działania niektórych standardowych środków ochrony, korzystać należy ze sprzętu ochronnego (w tym środków ochrony osobistej) [45].

5.2.1. Ochrona podstawowa w urządzeniach niskonapięciowych

Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim (zwanej też ochroną podstawową), z których przynajmniej jeden ma być zastosowany w każdym urządzeniu niskonapięciowym (urządzeniach rozdzielczych [38], instalacjach [54] i odbiornikach [31] [36] [37] [46] [47]), a są nimi: zastosowanie izolacji oraz obudowy – powinny być wykonane tak, by fizycznie uniemożliwić dostęp do niebezpiecznych części czynnych [70].

Izolowanie części czynnych

Izolacja podstawowa powinna być wykonana fabrycznie według odpowiednich norm, dotyczących konkretnego urządzenia, oraz sprawdzona przy

wykonaniu/odbiorze. Powinna pokrywać części czynne w całości, a jej usunięcie możliwe ma być tylko poprzez zniszczenie. Wynika stąd w sposób oczywisty zakaz jej naprawiania w warunkach amatorskich, np. z użyciem taśmy klejącej, rurki termokurczliwej czy innych przypadkowych technologii - jako rozwiązań niebezpiecznych i nie podlegających jakiegokolwiek sprawdzeniu, pomimo iż w eksploatacji niekiedy dopuszcza się naprawianie izolacji przez wykwalifikowany personel z użyciem odpowiednich materiałów i pod warunkiem przeprowadzenia pomiaru rezystancji i sprawdzenie wytrzymałości elektrycznej.

Powinna być przewidziana tak, by wytrzymywała wszelkie narażenia środowiskowe możliwe do wystąpienia w trakcie eksploatacji urządzenia: niskie lub wysokie temperatury pracy, oddziaływanie agresywnych czynników czy promieniowania (np. podczerwone, nadfioletowe). Aby nie dopuścić do uszkodzenia izolacji podczas eksploatacji przewodu, niekiedy dodatkowo wykonuje się na niej powłokę (np. z polwinitu) lub oponę (np. z gumy), natomiast w przypadku kabli niektórych typów wyposaża się je w pancierz ze stalowych taśm bądź drutów, chroniący przed naprężeniami w wyniku oddziaływania sił poprzecznych (tnących) lub podłużnych (rozciągających).

Obudowy, przegrody, osłony, ogrodzenia

Stosuje się je tam, gdzie izolacja części czynnej musi być usunięta – a zatem części czynne umieszcza się w odpowiedniej obudowie, bądź za przegrodą (osłoną, ogrodzeniem). Aby ochrona była skuteczna, wymagane jest zachowanie odpowiedniego stopnia ochrony (wyrażonego opisanym poniżej kodem IP) [42], właściwie dobranego do rzeczywistych warunków środowiskowych – co ma na celu uniemożliwienie dotyku oraz zapobiega wnikaniu ciał obcych i wody. Z mechanicznego punktu widzenia rozwiązanie obudowy (przegrody, osłony, ogrodzenia) powinno zapewniać odpowiednią wytrzymałość i odporność [29], a otwarcie (demontaż) możliwe ma być tylko w następujący sposób:

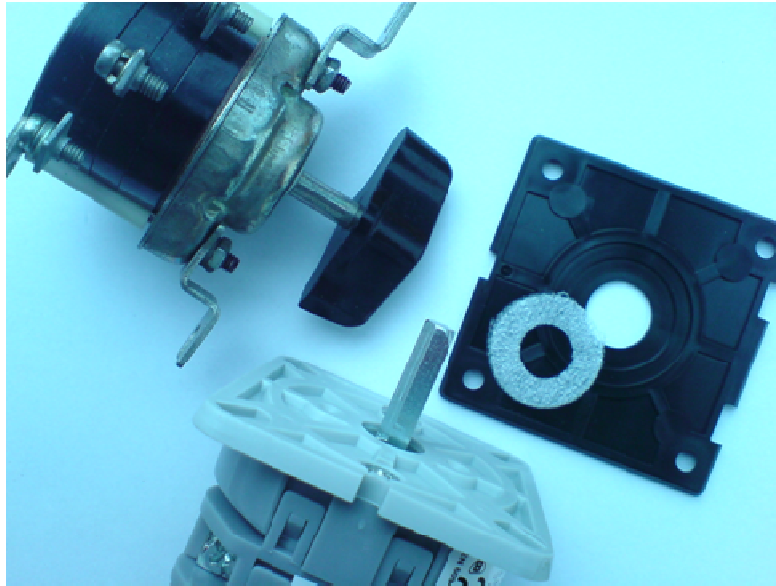
a) poprzez użycie klucza lub narzędzia (tzn. zamknięcie na zamek, kłódkę lub np. przykręcenie śrubami), co ma

zapobiegać możliwości otwarcia przez osoby nieupoważnione, albo

b) po uprzednim odłączeniu napięcia zasilania (części nieodłączane mają być całkowicie osłonięte i oznaczone piktogramem ostrzegawczym) – co jest prosto realizowane poprzez umieszczenie pokrętła odłącznika na drzwiczkach i sprzęgnięcia go z mechanizmem aparatu za pośrednictwem rozłączalnego wałka (przy ustawieniu pozycji „I” pokrętła otwarcie drzwiczek nie jest możliwe), albo

c) gdy istnieje potrzeba pozostawienia możliwości otwarcia drzwiczek (pokrywy) podczas pracy, to wewnętrzna osłona - demontowana wyłącznie z użyciem klucza lub narzędzia - ma uniemożliwiać dostęp do niebezpiecznej części czynnej.

Stopień ochrony charakteryzujący obudowę [42], wyrażony tzw. kodem IP, jest znormalizowanym wskaźnikiem określającym jej odporność na wnikanie z zewnątrz ciał obcych (np. ręki, narzędzia, zanieczyszczeń, pyłu) i wody do jej wnętrza, ale także do przestrzeni za przegrodą/osłoną. Kod IP podaje się także dla różnych elementów takich, jak: pokrywy, uszczelnienia, przyciski sterownicze, pokrętła i dźwignie łączników, lampki sygnalizacyjne i podobny osprzęt – jako określony względem powierzchni, np. płaszczyzny pulpitu, na której są instalowane (przy założeniu poprawności montażu). Osiągnięcie w rzeczywistości takiego stopnia ochrony, jaki został zadeklarowany przez producenta wyrobu, wymaga zastosowania wszelkich uszczelnień, osłon i osprzętu przewidzianych fabrycznie lub wskazanych przez projektanta. Rozwiązania stosowane przy montażu wyrobów (osprzętu i aparatury), charakteryzujących się określonym stopniem ochrony względem płaszczyzny zainstalowania (np. okienek wzierników, pokręteł i dźwigni napędów łączników, przycisków i lampek, gniazd i zacisków, mierników), nie mogą obniżać stopnia ochrony całej obudowy poniżej wymaganej wartości.



Rys. 5. Porównanie budowy uszczelnień w rozłącznikach mechanicznych różnych typów, przystosowanych do mocowania w pulpicie

Aparat widoczny po lewej stronie nie jest wyposażony w uszczelnienie ośki, natomiast konstrukcja prawego zapewnia stopień ochrony IP65 (dla pokrętła, nie pokazanego na rysunku, względem pulpitu jako płaszczyzny montażu).

Uwagi praktyczne:

a) przyłączanie przewodów do elementów wykorzystujących gwintowane połączenia (np. opravek źródeł światła i gniazd wkrętkowych bezpieczników topikowych) powinno odbywać się według zasady, by zawsze napięcie przewodu fazowego (jako części czynnej) doprowadzone było do styku współpracującego ze stopką żarówki/wkładki topikowej, a nigdy zaś do gwintu – bo możliwe jest dotknięcie palcem do gwintu przy wkręcaniu/wykręcaniu;



Rys. 6. Możliwość dotknięcia do gwintu

b) wszelkie połączenia jak np. wtyczki i gniazda wtykowe, przedłużacze, rozgałęźniki - buduje się tak, by uniemożliwić dotyk do niebezpiecznej części czynnej – tzn. że bolce wtyczki, gdy są dostępne - muszą być wyłącznie w stanie beznapięciowym, a gdy znajdują się pod napięciem – nie mogą pozostawać dostępne (czyli muszą być wewnątrz obudowy zestawu wtyczka-gniazdo);

c) gdy nie jest oczywiste, że obudowa zawiera niebezpieczne części czynne, a jej otwarcie mogłoby stwarzać zagrożenie porażeniowe - należy oznakować ją ostrzegawczym piktogramem w kształcie żółtego trójkąta z czarną błyskawicą.

5.2.2. Inne rozwiązania ochrony podstawowej i ochrona uzupełniająca

W strefach ruchu elektrycznego, dostępnych tylko dla wykwalifikowanego personelu, dopuszcza się także stosowanie przeszkód (barier) i umieszczenia poza zasięgiem ręki [49] – jako środków ochrony podstawowej, jednakże przy założeniu, iż

według współczesnej wiedzy nie zapobiegają one rozmyślnemu dotknięciu do części czynnych.

W instalacjach elektroenergetycznych w obiektach budowlanych [54] zalecane jest stosowanie ochrony uzupełniającej (ale nie zastępującej ochrony podstawowej) z użyciem wysokoczułego urządzenia różnicowoprądowego.



Rys. 7. Przykład wykorzystania wyłącznika różnicowoprądowego o czułości 30 mA do ochrony uzupełniającej w instalacji elektroenergetycznej niskiego napięcia (widok tablicy licznikowej i szczegół)

Jeżeli wewnątrz obudowy znajdują się wspomniane elementy pojemnościowe, utrzymujące napięcie szczytkowe – to konieczne jest zastosowanie rozwiązań dla ich rozładowania (np. oporników rozładowczych), a gdy jest to niewykonalne – to stosuje się odpowiednio widoczne ostrzeżenie.

Natomiast w przypadku występowania energii kinetycznej (np. zgromadzonej w wirujących masach napędów), tak jak to ma miejsce w silnikach maszyn, które indukują napięcie podczas przejścia w stan pracy prądnicowej po odłączeniu od zasilania – to konieczne jest przedsięwzięcie środków zapewniających nieobecność niebezpiecznego napięcia na odsłoniętych elementach takich, jak bolce wtyczek [36]. W zasadzie warunek ten bywa spełniony poprzez zastosowanie stycznika elektromagnetycznego w obwodzie rozpatrywanego silnika.

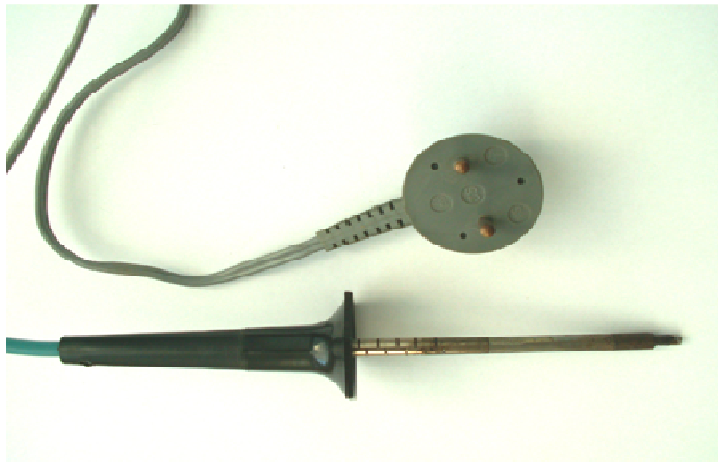
5.2.4. Ochrona dodatkowa w urządzeniach niskonapięciowych

Teoretyczna możliwość wystąpienia w dowolnym momencie pojedynczego uszkodzenia w każdym obiekcie technicznym oznacza, iż we wszelkich urządzeniach elektroenergetycznych należy liczyć się z prawdopodobnym uszkodzeniem środków ochrony podstawowej (np. przebicia elektrycznego izolacji) podczas eksploatacji. Praktyka potwierdza tę regułę, gdyż niespodziewane pojawienie się niebezpiecznego napięcia dotykowego na dostępnych częściach przewodzących bywa realnie występującym zdarzeniem, czego dowodzi statystyka wypadków. Zatem współczesna wiedza techniczna skłania nas do zastosowania w każdym urządzeniu rozwiązania zwanego dodatkową ochroną przed porażeniem, znaną także pod nazwą ochrony przed dotykiem pośrednim, lub pod oczywistym terminem ochrony przy uszkodzeniu (patrz: np. [31] [36] [37] [38] [46] [47] [54]). W dzisiejszych urządzeniach wymaga się więc stosowania środków ochrony dodatkowej dla niedopuszczenia do powstania skutków patofizjologicznych, jakie wystąpiłyby u człowieka dotykającego do części przewodzącej (dostępnej lub obcej) w takich warunkach [70]. Wiąże się z tym nierozłącznie pojęcie tzw.

klasy ochronności urządzenia [49], podającej w znormalizowany sposób rodzaj jego budowy, a będącej w praktyce informacją o koordynacji rozwiązań ochrony w sieci zasilającej i w przyłączonej do niej odbiorniku – co ma bezpośrednie przełożenie na poziom bezpieczeństwa.

Klasy ochronności urządzeń

Najdawniej wykorzystywano urządzenia wykonane w tzw. 0 klasie ochronności, czyli takie, w których występowała wyłącznie ochrona podstawowa - środkiem ochrony była jedynie izolacja albo obudowa bez wyodrębnionego zacisku ochronnego, a jej uszkodzenie powodowało natychmiast pojawienie się niebezpiecznego napięcia na dostępnych częściach przewodzących. Przykładowo były to urządzenia rozdzielcze, oprawy oświetlenia miejscowego, elektronarzędzia i inne odbiorniki. Z oczywistych względów zaniechano ich stosowania w praktyce, choć nie wyklucza się występowania ich w strefach ruchu elektrycznego (przy spełnieniu pewnych warunków) czy w rozwiązaniach szczególnych, natomiast urządzenia istniejące, w miarę zużywania się, powinny być zastępowane nowocześniejszymi, a zarazem bezpieczniejszymi urządzeniami wyższych klas.



Rys. 8. Ręczna lutownica elektryczna jako przykład odbiornika wykonanego w 0 klasie ochronności. Widoczny dwużyłowy przewód i wtyczka z dwoma bolcami (bez styku ochronnego).

Urządzenia wykonane w tzw. I klasie ochronności, oprócz obowiązkowej ochrony podstawowej, posiadają także możliwość objęcia ich ochroną dodatkową, która objawia się występowaniem specjalnego zacisku do przyłączenia z zewnątrz uziemionego przewodu ochronnego (widoczne jest to np. w postaci specjalnego styku występującego we wtyczce). Rozwiązanie takie pojawia się praktycznie w większości współczesnych urządzeń rozdzielczych, maszyn, sprzętu komputerowego i odbiorników (np. opraw oświetleniowych, dużego sprzętu AGD). Wszystkie dostępne części przewodzące urządzenia, takie jak: korpusy maszyn, kadłuby silników, obudowy szaf rozdzielczych i skrzynek sterowniczych (w tym także kaset, czujników, sygnalizatorów), rastry i elementy opraw oświetleniowych, osłony i pokrywy, drabinki i korytka kablowe - za wyjątkiem wszystkich tych elementów, w których zastosowano inne środki ochrony dodatkowej - muszą być przyłączone poprzez wewnętrzny układ połączeń ochronnych z wymienionym zaciskiem. Urządzenia takie i występujące w nich zaciski do przyłączania w nich przewodów ochronnych oznacza się znormalizowanym symbolem, zawierającym znak uziemienia wpisany w okrąg. Zabezpieczenie skutecznego funkcjonowania ochrony przeciwporażeniowej, a niekiedy i poprawnej pracy takiego urządzenia, wymaga obecności odpowiedniego przewodu ochronnego w każdym punkcie sieci lub instalacji oraz doprowadzenie jego do wspomnianego zacisku, a ponadto przedsięwzięcia opisanych niżej działań. Należy tu zwrócić uwagę, iż dawniej obowiązujące przepisy wymagały stosowania urządzeń w I klasie ochronności zasadniczo tylko tam, gdzie obserwowane było zwiększone ryzyko porażenia, a więc: w pomieszczeniach kuchni, łazienek, pralni, itp. - z racji występowania wilgoci czy wody, a w pomieszczeniach przemysłowych - z racji występowania uziemionych mas metalowych. Przykładowo możliwość przyłączania mniej bezpiecznych urządzeń o 0 klasie ochronności ograniczana była poprzez stosowanie w instalacjach budynków gniazd jednofazowych ze stykiem ochronnym (bolcem). W dzisiejszych realiach ów styk ochronny ma zasadniczo występować w każdym gnieździe, nawet w pomieszczeniach suchych (np. mieszkalnych, biurowych, szkolnych), co poprzez wymuszanie w ten sposób stosowania

urządzeń przynajmniej w I klasie pozwala na ograniczenie liczby wypadków porażenia.

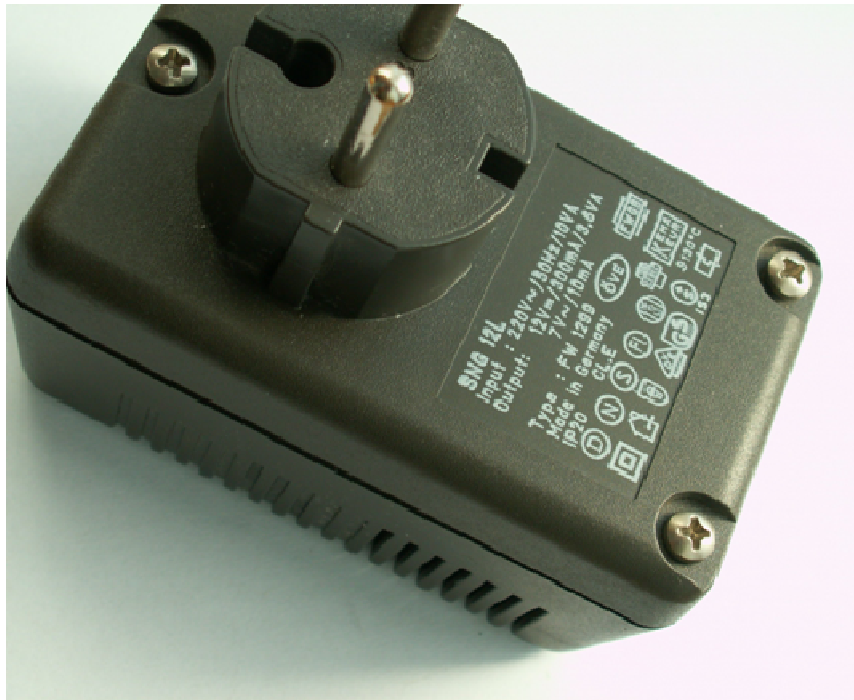
Urządzenia wykonane w tzw. II klasie ochronności z definicji wyposażone są w środek ochrony podstawowej (np. izolację części czynnych) oraz w niezależne rozwiązanie zapewniające ochronę przy uszkodzeniu, jaką może być izolacja dodatkowa: obudowę z tworzywa izolacyjnego lub wewnętrzną warstwę izolacji. Rozwiązanie takie spotykane jest coraz częściej w odbiornikach (np. elektronarzędziach, oprawach oświetlenia miejscowego, drobnym sprzęcie AGD), ale rozpowszechnione są również różne konstrukcje obudów (w formie szaf lub skrzynek montowanych w zestawy) do zastosowań przemysłowych lub pracujących w trudnych warunkach.



Rys. 9. Wiertarka elektryczna jako przykład odbiornika wykonanego w I klasie ochronności. Widoczna 5-stykowa wtyczka na sznurze zasilającym (styk ochronny wykonany jest jako bolec o średnicy większej, niż pozostałe).

Kryteria II klasy ochronności spełniają także uzwojenia niektórych transformatorów (np. ochronnych, separacyjnych) czy przetwornic. Podczas normalnego użytkowania tak

skonstruowanego urządzenia, układ podwójnej izolacji uniemożliwia powstanie uszkodzenia grożącego porażeniem (dopuszcza się też wyroby o wzmocnionej pojedynczej warstwie izolacyjnej, spełniającej wymagania stawiane podwójnej). Urządzenia te uznaje się za bezpieczniejsze od skonstruowanych w I klasie, a ich cechą charakterystyczną jest fakt, iż nie potrzebują doprowadzenia przewodu ochronnego i nie muszą mieć zacisku ochronnego, a wtyczka ich przewodu pozwala na ominięcie wspomnianego styku ochronnego gniazda wtykowego. Jednakże zdarza się, że w ich wnętrzu muszą się pojawić z innych względów przewody ochronne, to wówczas konieczne jest zapewnienie ich ciągłości i wykonanie odpowiedniego zacisku – sytuacje takie występują w spełniających kryteria II klasy niektórych urządzeniach elektronicznych (np. w sprzęcie informatycznym, aparatach elektromedycznych), ale w szczególności w urządzeniach rozdzielczych czy ciągach opraw oświetleniowych. Urządzenia o II klasie ochronności muszą być oznaczone symbolem dwóch współśrodkowych kwadratów, a ponadto w sytuacji możliwych wątpliwości (np. urządzenia o metalowej obudowie) stosuje się znak przekreślonego uziemienia, oznaczający brak konieczności doprowadzania przewodu ochronnego.



Rys. 10. Zasilacz elektroniczny do domowego sprzętu AGD/RTV jako przykład urządzenia wykonanego w II klasie ochronności. Widoczna obudowa izolacyjna i tabliczka znamionowa z oznakowaniem symbolem podwójnego kwadratu. Transformator we wnętrzu również wykonany jest jako wyrób o podwójnej izolacji.

Uwaga praktyczna:

Wykorzystanie w rozdzielnicach łączników, przycisków lub osprzętu - o wyprowadzonych na zewnątrz obudowy metalowych elementach - nie może naruszać zasady oddzielenia człowieka od części czynnych podwójną/wzmocnioną warstwą izolacji.



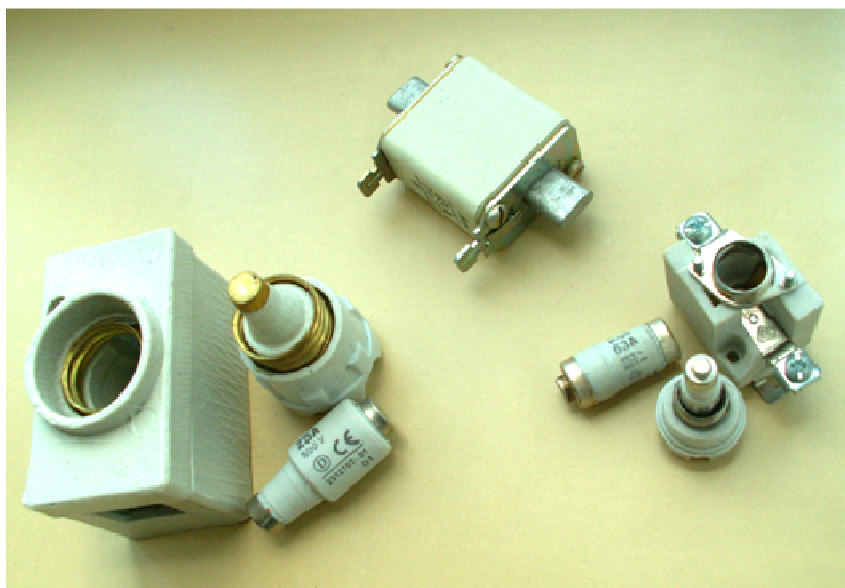
Rys. 11. Przykłady wtyczek i gniazd do zastosowań domowych. Klasy ochrony: 0 – białe (bez styku ochronnego), I – szare (ze stykiem ochronnym), II – wtyczka biała, gniazdo czarne (wtyczka może omijać styk ochronny gniazda o I klasie ochrony, gniazdo tu pokazane może przyjmować tylko wtyczkę płaską 2,5 A).

Zauważyć należy, że istnieją także urządzenia wykonane w III klasie ochrony, a charakteryzują się one zasilaniem bardzo niskim napięciem i oznacza się je znakiem III w kwadracie. Stosuje się do ich oznaczenia skróty: SELV i PELV - w zależności od braku lub występowania uziemienia.

Samoczynne wyłączenie zasilania

Najczęściej występujący w krajowych realiach środek ochrony dodatkowej, znany dawniej pod nazwami „zerowania” lub „uziemienia ochronnego”, a stosowany szeroko w przystosowanych do tego celu instalacjach, urządzeniach rozdzielczych i odbiornikach (jako współistniejący ze środkami ochrony podstawowej) - opiera się na wzajemnej współpracy trzech odpowiednio przewidzianych i wzajemnie skoordynowanych ze sobą następujących elementów:

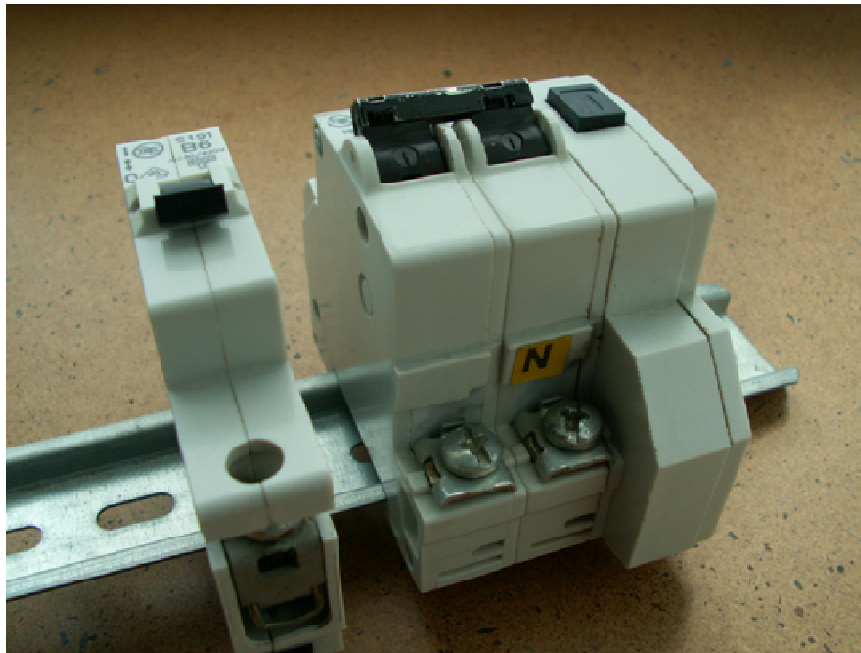
- aparatu zabezpieczającego: nadmiarowoprądowego (np. bezpiecznika topikowego, wyłącznika samoczynnego reagującego na wzrost wartości prądu w obwodzie) lub różnicowoprądowego (np. ochronnego wyłącznika różnicowoprądowego reagującego na pojawienie się prądu upływu z obwodu),
- uziemionego przewodu ochronnego (oznaczanego PE), który ma występować w każdym urządzeniu i doprowadzony jest do wszystkich części przewodzących dostępnych,
- układu połączeń wyrównawczych (oznaczanych CC), służących do ekwipotencjalizacji - czyli wyrównania potencjałów pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi i obcymi, które jednocześnie mogą być dotknięte przez człowieka.



Rys. 12. Przykłady bezpieczników topikowych różnych typów

Zabezpieczenie nadmiarowoprądowe wykrywa wzrost wartości prądu w przewodzie fazowym powyżej ustalonej granicy - co miewa miejsce przy występowaniu zwarc (a w przypadku układu sieci typu TN i TT – także przy zwarciu doziemnym), na które reaguje przerywając przepływ prądu zwarciego

poprzez odłączenie chronionego obwód od źródła zasilania. Zabezpieczenie różnicowoprądowe natomiast wykrywa zaburzenie równowagi prądów (tzn. algebraicznej sumy ich wartości) w poszczególnych przewodach chronionego obwodu: fazowych (oznaczanych L) i neutralnym (oznaczanym N) – a w przypadku wykrycia upływu prądu zwarcia doziemnego wskutek uszkodzenia izolacji, reaguje analogicznie odłączając obwód od zasilania. Wówczas przewód ochronny, przyłączony do wszystkich części przewodzących dostępnych urządzenia, służy do odprowadzenia tego prądu uszkodzeniowego do ziemi. Wyłączenie prądu zwarcia powinno wystąpić możliwie jak najszybciej – normy podają stosownych czas, zależny od miejsca zwarcia: przykładowo w niskonapięciowych instalacjach i przyłączonych do nich odbiornikach mają to być ułamki sekundy, a w obwodach rozdzielczych – wynosi nawet do 5 sekund. Natomiast rzeczywisty czas wyłączenia zwarcia w sieciach przesyłowych niskiego napięcia może być znacznie dłuższy, co niekiedy jest potrzebne do zapewnienia selektywności działania zabezpieczeń (czyli takiego ich doboru, by najszybciej działał najbliższy miejsca zwarcia aparat, zabezpieczający obwód). Uziemienie punktu gwiazdowego i przewodu ochronno-neutralnego (oznaczany PEN) ma na celu m.in. wymuszenie zwiększenia wartości prądu zwarcia doziemnego, a w konsekwencji przyspieszenie jego wyłączenia przez zabezpieczenia nadmiarowoprądowe. Dla porównania można podać informację, iż w przypadku typowych sieci rozdzielczych średniego napięcia w terenie, pracujących z reguły w układzie typu IT, pojedyncze doziemienie może utrzymywać się w czasie nawet wielu godzin – prąd zwarcia doziemnego nie jest znaczący, natomiast uszkodzenie linii niekoniecznie musi oznaczać przerwę w zasilaniu odbiorców. Zastosowanie środka ochrony jest możliwe w urządzeniach wykonanych w I klasie ochronności. Przewód ochronny musi spełniać ściśle wymagania dotyczące zapewnienia jego ciągłości i sposobu przyłączania (dla uniknięcia przerwy dyskwalifikującej środek ochrony), jego zwymiarowania (tzn. pola przekroju poprzecznego skorelowanego z tym przewodem fazowego), odporności na występujące narażenia oraz widocznego oznakowania zastrzeżoną kombinacją barw żółtej i zielonej.



Rys. 13. Jednobiegunowy nadmiarowy wyłącznik instalacyjny (po lewej) i dwubiegunowy różnicowoprądowy wyłącznik przeciwporażeniowy (po prawej). Widoczny przycisk testu, służący do sprawdzania poprawności działania wyłącznika różnicowoprądowego (ale nie skuteczności środka ochrony).

Należy zwrócić uwagę, iż ze względu na istotne mankamenty tego środka ochrony układzie sieci typu TN-C (4-przewodowego, czyli ze wspólnym przewód ochronno-neutralnym PEN), wśród których należy wymienić:

- możliwość wystąpienia napięcia dotykowego o pełnej wartości napięcia fazowego na częściach przewodzących dostępnych w chwili przerwania przewodu PEN,
- nadawanie niebezpiecznego potencjału względem ziemi przyłączonym do niego częściom przewodzącym dostępnym - wskutek odkładanie się w przewodzie PEN spadku napięcia spowodowanego przepływem prądu roboczego, ale w szczególności prądów zakłóceń/zwarciovych,

- aktualny stan wiedzy wymaga, by w nowych i remontowanych instalacjach obiektów budowlanych [4] stosować układ 5-przewodowy (typu TN-S lub TN-C-S), charakteryzujący się rozdzielonymi przewodami: ochronnym PE i neutralnym N. Należy także zwrócić uwagę, że w odniesieniu do oprzewodowania większości produkowanych odbiorników, analogiczne wymagania obowiązywały w Polsce już od lat.

Uwagi praktyczne:

W przypadku korzystania z bezpieczników topikowych, należy zawsze przestrzegać zasady stosowania wkładki topikowej o dokładnie takiej wartości prądu znamionowego i charakterystyce, jakie przewidział projektant instalacji lub konstruktor urządzenia. Zastosowanie innego rozwiązania może spowodować brak założonej skuteczności ochrony przeciwporażeniowej. Zwrócić należy uwagę, iż większość gniazd bezpiecznikowych wyposażona jest w rozwiązanie uniemożliwiające zainstalowanie wkładki topikowej o większym prądzie znamionowym dla uniknięcia nieskuteczności zabezpieczenia prowadzącego do porażenia – zazwyczaj jest to element ograniczający średnicę stosowanej wkładki (gdyż w ramach danego typoszeregu wkładki mają wymiar niektórych elementów rosnący wraz z wartością prądu znamionowego). Natomiast jakakolwiek próba naprawy lub modyfikacji wkładki topikowej (np. poprzez zastąpienie kalibrowanego topika jakimkolwiek metalowym przedmiotem) niechybnie doprowadzi do niezadziałania zabezpieczenia i do wypadku – dlatego powinna być kategorycznie zakazana.

Zakłada się, iż bezpieczniki instalacyjne (typu wkrętkowego) mogą być wymieniane przez nieelektryków, natomiast obsługa bezpieczników mocy (typu stacyjnego) zarezerwowana jest dla elektryków.

W przypadku korzystania z ochronnych urządzeń różnicowoprądowych należy zwrócić uwagę na przycisk testu, służący do sprawdzenia poprawności działania mechanizmu aparatu (ale nie ciągłości przewodów ochronnych !). Zalecane jest więc okresowe sprawdzanie, np. w odstępach cotygodniowych lub kilkutygodniowych, a w miejscach o

znacznie zwiększonym ryzyku porażenia (np. na terenie placu budowy) – nawet codziennie. Ponadto praktyka eksploatacyjna wskazuje na wyższą niezawodność wyłączników różnicowoprądowych okresowo sprawdzanych w ten sposób.

W przewodach ochronnych nie wolno umieszczać żadnej aparatury zabezpieczającej czy łączeniowej, która mogłaby przerwać ich ciągłość - dyskwalifikuje to bowiem ich działanie jako elementu środka ochrony.

Stosowanie izolacji podwójnej/wzmocnionej

Coraz popularniejszym rozwiązaniem spotykanym w praktyce, zapewniającym wysoką skuteczność ochrony przed porażeniem, jest zastosowanie urządzenia zbudowanego w tzw. II klasie ochronności, czyli takiego, które producent wytworzył i przebadał zgodnie z postanowieniami stosownych norm i w którym zastosował odpowiedni dobór materiałów. Przy przestrzeganiu jego zaleceń podczas eksploatacji, ryzyko związane z porażeniem bywa niższe niż występujące przy samoczynnym wyłączeniu zasilania, niekiedy także w trudniejszych warunkach środowiskowych. Stosowanie rozwiązania bywa korzystne, gdyż w niektórych sytuacjach (np. przy konstruowaniu rozległych maszyn) upraszcza budowę środków ochrony dzięki możliwości rezygnacji z kłopotliwego przewodu ochronnego.

Separacja elektryczna

Rozwiązanie techniczne tego niekiedy stosowanego w praktyce środka ochrony, polega na zasilaniu pojedynczego obwodu odbiorczego ze specjalnego źródła energii (transformatora lub przetwornicy maszynowej). Wysoka skuteczność ochrony przeciwporażeniowej wynika z wykonania obwodu odbiorczego i przyłączonego do niego odbiornika – mianowicie musi on być całkowicie oddzielony od ziemi i wszelkich innych obwodów (zwłaszcza zasilającego). Ewentualne uszkodzenie izolacji podstawowej nie skutkuje przepływem prądu rażeniowego przez ciało człowieka, gdyż brak jest możliwości zamknięcia się drogi dla tego prądu. Warunkiem skuteczności jest zatem odpowiednie wykonanie chronionego obwodu (tzn. przestrzeganie sumarycznej długości,

jakość izolacji podstawowej, zastosowanie zabezpieczeń przed możliwością uszkodzenia, np. mechanicznego) dla zapobieżenia doziemieniu, co w rzeczywistości utrudnia praktyczne stosowanie. Przykładowo zestawy obejmujące transformator separacyjny i gniazdo wtykowe spotyka się w łazienkach hotelowych i wagonów kolejowych, jako źródło zasilania niewielkich odbiorników, np. golarki. Ponadto rozwiązaniem to znalazło zastosowanie przy prowadzeniu prac remontowych w ciasnych wnętrzach metalowych urządzeń, np. wewnątrz kotłów, maszyn studzienek, itp. – gdyż pozwala na przyłączanie odbiorników (np. elektronarzędzi) o mocach przekraczających te, jakie miewają urządzenia zasilane bardzo niskim napięciem. Niekiedy możliwe jest wykorzystanie przy tym urządzeń o 0 klasie ochronności. Natomiast w przypadku konieczności zasilania wielu odbiorników, aktualny stan wiedzy przemawia za ograniczeniem zastosowania do lokalizacji nadzorowanych przez osoby wykwalifikowane.

Izolowanie stanowiska

Prosty w konstrukcji środek ochrony, znany także pod potoczną nazwą „środowiska nieprzewodzącego”, niekiedy znajduje zastosowanie w specyficznych warunkach laboratoriów czy pomieszczeń o podobnym charakterze, obsługiwanych przez osoby wykwalifikowane. Zasada budowy, polegająca na takiej organizacji stanowiska pracy, by uniemożliwione było jednoczesne dotknięcie do jakichkolwiek części przewodzących (dostępnych czy obcych) innych, niż należące do użytkowanego urządzenia elektroenergetycznego pozostającego w zasięgu rąk, musi być bezwzględnie przestrzegana podczas eksploatacji. Uszkodzenie izolacji podstawowej tego urządzenia nie skutkuje porażeniem, gdyż ze względu na nieprzewodzące środowisko wokół człowieka, nie ma możliwości zamknięcia się obwodu rażeniowego dla prądu doziemnego. Istotne jest przy tym przestrzeganie obostrzeń, mających na celu zapewnienie użycia nieprzewodzących materiałów na dostępnych dla człowieka powierzchniach oraz wyeliminowanie uziemionych przedmiotów (np. przewodu ochronnego, innych instalacji, metalowych mas).

5.2.5. Połączenia wyrównawcze

Celem ich zastosowania jest wyrównanie różnic potencjału (tzn. ekwipotencjalizacji) pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi/obcymi, czyli obniżenie spodziewanego napięcia dotykowego na tych częściach, które mogłyby jednocześnie zostać dotknięte przez człowieka. Ograniczenie ryzyka porażeniem objawia się zwłaszcza podczas rozplywu prądów zwarciovych i piorunovych. Zatem obowiazkowe jest zastosowanie polaczen wyrównawczych [4] [54]:

- glównych - w kazdym zelektryfikowanym obiekcie budowlanym - dla zapewnienia wyrównania potencjalów pomiedzy: układem uziemionych przewodów ochronnych, dostępnymi uziomami (naturalnymi i sztucznymi), instalacją odgromową, instalacjami i rurociągami wykonanymi z materiałów przewodzących, metalowymi elementami konstrukcyjnymi budynku (w szczególności zbrojeniem słupów, ścian, stropów i fundamentów), itp.,
- miejscowych - jako uzupełniającego środka ochrony przed dotykiem pośrednim, w szczególności w tych miejscach, gdzie występuje wyższy poziom ryzyka porażeniem (w wilgotnych pomieszczeniach, np. w łazienkach i pomieszczeniach kąpielovych).



Rys. 14. Obejma ze stali nierdzewnej, służąca do przyłączania przewodów wyrównawczych do metalowych rur.

Na pierwszym planie widoczny zacisk do przyłączania przewodu o różnym kształcie żyły. Poniżej śruba służąca do wywierania naprężenia taśmy, po jej przewleczeniu przez uchwyt.

Zastosowanie miejscowych połączeń wyrównawczych jest wskazane ponadto w pralniach i kuchniach, węzłach cieplnych i hydroforniach, w maszynowniach wind, w pomieszczeniach medycznych czy w strefach wyposażonych w urządzenia technologiczne - gdyż istotnie podwyższają poziom bezpieczeństwa, a ponadto dodatkowe połączenia wyrównawcze pomiędzy uziemionymi przewodami ochronnymi PE (a zwłaszcza PEN) a częściami przewodzącymi obcymi wydatnie poprawiają skuteczność samoczynnego wyłączenia zasilania.

Należy przy tym zwrócić uwagę, by wszelkie elementy instalacji uziemieniowej i wyrównawczej były racjonalnie i kompleksowo przewidziane, rozplanowane i zwymiarowane – zwłaszcza na etapie projektowania wznoszonego obiektu budowlanego lub przy modernizacji jego lub wyposażenia (patrz: np. [33]).

Uwaga praktyczna:

Należy zwrócić uwagę, iż wymieniane niekiedy nieuziemione połączenia wyrównawcze, jako samodzielnie funkcjonujący środek ochrony [54] - z racji sprawianych trudności technicznych w realizacji (tzn. ze względu na praktyczny brak występowania nieuziemionych części przewodzących w rzeczywistych instalacjach elektroenergetycznych obiektów budowlanych) - nie będzie spotykane w przyszłości w normach.

5.2.6 Realizacja ochrony przeciwporażeniowej w warunkach szczególnych

Ogólne zasady ochrony, słuszne dla warunków normalnych (tzn. dla pomieszczeń suchych, bez uziemionych mas metalowych, itp.), należy niekiedy zmodyfikować w odniesieniu do urządzeń eksploatowanych w szczególnych

warunkach lub w specyficznych zastosowaniach. Objawia się to w zaostrzaniu niektórych wymagań stawianych budowie urządzeń oraz ograniczeń w wykorzystywaniu pewnych rozwiązań. Modelowym wręcz przykładem (patrz: np. [54] ark. części 7) są wymagania dla instalacjach elektroenergetycznych w pomieszczeniach wilgotnych (np. w łazienkach i przy basenach), w gospodarstwach rolnych i ogrodniczych, na placach budowy i rozbiórki oraz w obiektach sportowo-rekreacyjnych (jak: obozowiska, pojazdy kempingowe, przystanie). Modyfikacje dotyczą tu np. obostrzeń dotyczących minimalnego stopnia ochrony (wyrażanego kodem IP), stosowania urządzeń niektórych klas ochronności czy obowiązku wykonania instalacji wyłącznie w jako typu TN-S. Ponadto wyższe ryzyko porażenia przekłada się zazwyczaj na krótszy dopuszczalny czas wyłączenia zwarcia czy obowiązek zastosowania ochronnego wyłącznika różnicowoprądowego o podanej czułości. Konkretnie wymagania zawsze podawane są w odpowiedniej części normy, aktualizowanej wraz z postępem wiedzy technicznej.

Uwaga praktyczna:

Fakt tymczasowego czy okazjonalnego eksploataowania urządzenia nie upoważnia do ewentualnego stosowania łagodniejszych kryteriów bezpieczeństwa, niezależnie od jakichkolwiek argumentów, w szczególności ekonomicznych.

Podobnie, obiekty opieki zdrowotnej takie, jak: szpitale, przychodnie, gabinety lekarskie i laboratoria wymagają wysokiej pewności zasilania w energię elektryczną [74]. Szczególnie wymagające w tym względzie są odbiorniki stanowiące wyposażenie sal operacyjnych. Zasady ochrony przeciwporażeniowej, odnoszone do niektórych pomieszczeń medycznych, w których dochodzi do kontaktu urządzenia czy jego tzw. części aplikacyjnych z ciałem człowieka (np. w oddziałach intensywnej terapii, przy stosowaniu fizykoterapii z zastosowaniem aparatury elektromedycznej) powinny być szczególnie ostre ze względu na fakt nawilżenia naskórka pacjenta czy bezpośredniego styku z narządami wewnętrznymi (zwłaszcza z okolicą serca) [43]. Przekłada się to na specjalne rozwiązanie wykonania instalacji w blokach operacyjnych, wykorzystującej układ IT zasilany z dedykowanego

transformatora, z zastosowaniem urządzenia do kompleksowego kontrolowania stanu izolacji. Ponadto budowa wielu aparatów elektromedycznych wymaga uziemiania wewnętrznych ekranów i zapewnienia osobnej ekwipotencjalizacji.

5.2.7. Informacja o ochronie przeciwporażeniowej w urządzeniach wysokonapięciowych i ochronie przed łukiem elektrycznym

Ze względów praktycznych należy również wspomnieć o aktualnych zasadach [22] stosowanych ogólnie przy ochronie przeciwporażeniowej w urządzeniach wysokonapięciowych - chociaż w rzeczywistości styczność z nimi mają zazwyczaj tylko pracownicy przedsiębiorstw energetycznych i laboratoriów [30] oraz personel eksploatujący nieliczne urządzenia przemysłowe (np. silniki, elektrofiltry) lub medyczne (np. aparat RTG). Przykładowo dla stacji elektroenergetycznych (ale nie elektrowni czy linii przesyłowych, gdyż zazwyczaj są w gestii energetyki zawodowej), wykorzystywanych do zasilania rozmaitych obiektów (np. przemysłowych, służby zdrowia, komunalnych) czy też różnych odbiorników, można skrótowo podać następujące reguły:

Ochrona podstawowa (przed dotykiem bezpośrednim) może zostać zrealizowana z zastosowaniem obudowy, przegrody, przeszkody, lub poprzez umieszczenie poza zasięgiem. Jednakże rodzaj użytego środka musi zależeć od miejsca zastosowania, gdyż na zewnątrz strefy (pomieszczenia) ruchu elektrycznego dopuszcza się tylko zastosowanie obudowy (o stopniu ochrony min. IP23, demontowanej od wewnątrz przy użyciu narzędzi) lub umieszczenie poza zasięgiem. Ochroną należy objąć wszelkie części czynne, ponadto części mające tylko izolację roboczą, ale także mogące przenosić niebezpieczny potencjał. Zastosowanie minimalnych odstępów od części czynnych - zależnych od zakresu napięcia - ma uniemożliwić niezamierzone dotknięcia do części czynnych, ale także uniemożliwić niezamierzone zbliżenie się człowieka do niebezpiecznej strefy wokół części pod napięciem, gdyż jest ono traktowane jak dotyk bezpośredni. Należy wyraźnie zwrócić

uwagę, że sama izolacja nie jest uznawana jako środek ochrony przed dotykiem bezpośrednim.

Ochrona dodatkowa (przy dotyku pośrednim) może być zrealizowana na wiele sposobów, jednakże za zasadniczy przyjmuje się uziemienie ochronne, za którym także przemawiają względy ochrony przed łukiem elektrycznym i oddziaływaniem sprzężenia indukcyjnego czy pojemnościowego. Odpowiednia budowa instalacji uziemiającej i konfiguracja uziołów ma na celu ograniczenie napięć dotykowych i krokowych. Natomiast uzupełniają je różne działania, które mają zmierzać do zmniejszenia ekspozycji na rażenie poprzez:

- niedopuszczanie do powstania zwarcia doziemnego, np. poprzez zastosowanie dodatkowej warstwy izolacji na częściach czynnych,
- ograniczanie wynoszenia potencjału poza strefę czy teren objęte ochroną, np. poprzez zainstalowanie wstawek izolacyjnych w bramach, szynach kolejowych, doprowadzanych sieciach, itp.
- fizyczne utrudnianie dostępu do miejsc o przewidywanym pojawianiu się groźnych napięć dotykowych czy krokowych, np. poprzez ich wygrodzenie.

Ponadto coraz większą uwagę przykładają się do zastosowania urządzeń w wykonaniu łukochronnym, a w szczególności:

- takiej budowie urządzeń, która nie powoduje wydostawania się łuku elektrycznego i jego produktów na zewnątrz, a jeżeli nie da się tego uniknąć – to tak, by nie oddziaływały bezpośrednio na człowieka, np. poprzez zastosowanie pełnej stalowej obudowy do zamknięcia części czynnych, zastąpienie siatki w otworach rewizyjnych drzwiczek pokrywą z przeszkleniem, ukierunkowanie wydmuchu łuku, itp.,
- poprzez stosowanie nowoczesnej aparatury łączeniowej - próżniowej lub z izolacją gazową (np. z wykorzystaniem sześćiofluorku siarki),

- wyposażając urządzenia rozdzielcze w układy blokad (mechanicznych i elektrycznych) dla zapobieżenia omyłkom przy dokonywaniu czynności łączeniowych.

5.3. Ochrona antyelektrostatyczna

Najprostsze działania zmierzające do zapobiegania niekorzystnym skutkom elektryzacji i wyładowań elektrostatycznych mają charakter organizacyjny. Jeżeli jest to wykonalne, to należy zminimalizować możliwość powstawania szkodliwych ładunków elektrostatycznych, np. poprzez zmianę technologii lub asortymentu przetwarzanych materiałów, traktując priorytetowo zastąpienie substancji stwarzających zagrożenie wybuchowe bezpieczniejszymi. Istotną poprawę sytuacji zazwyczaj zapewnia spowolnienie prędkości wzajemnego przemieszczania się przedmiotów - np. redukcja szybkości przewijania surowca w maszynie, a w przypadku pomieszczenia biurowego, wyposażonego w meble i sprzęt biurowy z tworzyw sztucznych, gdzie dominuje obecność papieru – może to być wolniejsze wykonywanie ruchów personelu (zwłaszcza wstawania z krzeseł).

Nie do przecenienia jest istotny wpływ wilgotności powietrza w pomieszczeniach – wzrost wilgotności względnej do poziomu 60...70 %, zwłaszcza w sezonie zimowym, daje odczuwalną poprawę. Możliwe to jest przy wyposażeniu pomieszczeń w nowoczesne urządzenia wentylacyjno-klimatyzacyjne, natomiast w przypadku ich braku – w praktyce wystarczają naczynia z wodą umieszczone ponad grzejnikami.

Bardziej skomplikowane rozwiązania [51], z reguły satysfakcjonujące z punktu widzenia obiektywnych odczuć użytkowników, polegają na zastosowaniu wykładzin podłogowych o niskiej rezystancji powierzchniowej i skrośnej, zapewniających uziemianie antystatyczne (a najlepiej wykonanych z drewna), co jednakże wiąże się z koniecznością przewidzenia takiego rozwiązania na etapie projektowania wznoszonego budynku lub jego modernizacji. Uzupełnieniem

działań powinien być odpowiedni dobór mebli i wyposażenia. Natomiast podkreślić należy tu pozytywny wpływ stosowania obuwia z naturalnych materiałów (skóry zamiast gumy czy tworzyw sztucznych) oraz odzieży z włókien naturalnych (zamiast syntetycznych), podobnie jak wykorzystywania preparatów antystatycznych do prania odzieży czy konserwacji mebli i wyposażenia.

Natomiast w przypadku konieczności stosowania rozwiązań technicznych, najważniejszą rolę odgrywają wszelkiego rodzaju połączenia wyrównawcze, stosowane w maszynach i urządzeniach technologicznych oraz w pomieszczeniach, zwłaszcza zagrożonych wybuchem. Zapewniają one ekwipotencjalizację i odprowadzenie zgromadzonych ładunków do ziemi. W przypadku rurociągów mogą to być zwory łączące kołnierze poszczególnych sekcji, a na przesuwających się elementach maszyn stosuje się zbieracze w formie szczotki, stykające się np. z gumową taśmą przenośnika. Personel zaś można wyposażyć w indywidualne uziemiacze, zakładane na nadgarstek i przyłączane do uziemionych przedmiotów.



Rys. 15. Indywidualny uziemiacz naręczny. Część stykająca się z nadgarstkiem wyposażona jest w metalową elektrodę z zatrzaskiem dla przyłączenia przewodu. Spiralny przewód wykonany jest z materiału o rozłożonej rezystancji - dla powolnego rozładowywania zgromadzonego na ciele człowieka ładunku.

5.4. Ochrona odgromowa i przeciwprzebieciowa

Szkodliwy wpływ zjawisk związanych z występowaniem wyładowań atmosferycznych i przepięć na człowieka i jego mienie przemawia za kompleksowym podejściem do tych zagadnień [75] [84] [88], co przekłada się na wymaganie stosowania w obiektach budowlanych i w urządzeniach elektrycznych zespołu rozwiązań dla zapobiegania ich skutkom: instalacji odgromowej, urządzeń do ochrony przed przepięciami oraz pewnych rozwiązań technicznych spełniających podobne funkcje. Konieczność zainstalowania konkretnych rozwiązań określa dla indywidualnego przypadku projektant branży elektrycznej na podstawie wskazań wynikających z odpowiednich norm.



Rys. 16. Zwody pionowe nad kominkami i metalowe pokrycie dachu jako elementy instalacji odgromowej na budynku mieszkalnym

Zewnętrzna ochrona przed oddziaływaniem wyładowań atmosferycznych polega na wyposażeniu budowli w instalację odgromową (patrz: np. [21], [52], [72] zesz. 11) składającą się z [32]:

a) zwodów – czyli elementów bezpośrednio przejmujących uderzenie pioruna, wykonanych jako:

- poziome, w formie siatki z metalowego przewodu (np. drutu), rozpiętej na wspornikach umieszczonych na dachu budynku i nad wrażliwymi urządzeniami na nim (wymiary materiału i rozmiar boku oka siatki zależy od rodzaju obiektu oraz wymaganego poziomu ochrony – szczegóły podane są w normach), a także nad kominami,

- pionowe, w formie wolnostojącego pojedynczego pręta (iglicy) lub zespół prętów, wystający ponad chroniony obiekt budowlany, komin czy maszt, a w przypadku blaszanego pokrycia dachu – wykorzystanie jego jako naturalnego elementu instalacji; rozplanowanie zwodów i ich wymiary tworzą odpowiednią strefę ochronną ponad rozpatrywanym obiektem budowlanym, natomiast do zwodów przyłącza się wszystkie metalowe przedmioty na dachu budynku: kominki, rynny, klapy wyłazowe, itp.;

b) przewodów odprowadzających i uziemiających (zazwyczaj połączonych między sobą przez zaciski probiercze, umożliwiające pomiar rezystancji uziomu) – sprowadzające prąd wyładowania atmosferycznego od zwodów do uziomu, wykorzystuje się w tym celu w miarę możliwości naturalne przewody, jak: stalowe słupy czy zbrojenie słupów i ścian, a jeżeli nie występują – to układa się po najkrótszej trasie przewody sztuczne w formie metalowych prętów lub taśm, rozmieszczonych równomiernie na obwodzie obiektu budowlanego (minimum 2, a przynajmniej 4 przy występowaniu strefy zagrożonej wybuchem);

c) uziomu – mającego na celu rozproszenie prądu w ziemi:

- naturalnego – wykorzystującego nieizolowane od ziemi zbrojenie fundamentów i inne podziemne przewodzące części budowli, a także metalowe rurociągi, studnie, pancerze kabli i dostępne pobliskie uziomy,

- sztucznego (wykonanego gdy brak jest naturalnych lub są niedostępne) - w formie poziomej taśmy (tzw. uziom otokowy wokół fundamentów), lub jako pionowy pręt pograżony w ziemi, a niekiedy też krata z taśmy stalowej, przydatność uziomu zależy od rezystancji uziemienia, na którą istotny wpływ ma m.in. charakterystyczny parametr, jakim jest rezystywność gruntu - zmienny sezonowo wraz z wilgotnością gruntu – silnie uzależnioną od obfitości opadów atmosferycznych oraz topnienia śniegu, ponadto zjawisko przemarzanie gruntu zimą

(praktycznie w Polsce sięga ono głębokości do 60 ...80 cm)
powoduje bezużyteczność ułożonego w nim uzioru;

Ochrona wewnętrzna obejmuje elementy odpowiedzialne za ekwipotencjalizację i ograniczanie napięć dotykowych, czyli w szczególności rozmaite połączenia wyrównawcze - zarówno zainstalowane w instalacjach elektroenergetycznych, jak i pomiędzy niektórymi elementami konstrukcyjnymi budynku, np. na poziomie gruntu (w podłodze) pomiędzy rzędami słupów.

Urządzeniami do ochrony przeciwprzebieciowej (patrz: np. [44], [55], [72] zesz. 8) zazwyczaj bywają odpowiednie elementy służące do ograniczania przebiec i rozpraszania wydzielającej się w nich energii cieplnej. Konstruuje się je jako aparaty włączane równolegle do chronionego obwodu, a zawierające przeważnie iskierniki (powietrzne lub gazowane) lub warystor (jako element zmiennooporowy). System ochrony przed przebieciami, stosowany w urządzeniach niskonapięciowych, działa skutecznie tylko wówczas, gdy jest złożony z zestawu odpowiednio dobranych ochronników, rozmieszczonych kaskadowo wzdłuż toru przepływu energii lub sygnału. Każdorazowo przy ich doborze projektant kieruje się stopniem złożoności urządzenia i odpornością jego części składowych na przebiecia. Przeważnie ochronniki instaluje się:

- w elektroenergetycznych napowietrznych liniach przesyłowych oraz rozdzielniach (różnych napięć),
- w miejscu wprowadzenia układu zasilania do obiektu budowlanego (zwłaszcza napowietrznej linii niskiego napięcia),
- w miejscu rozdziału energii elektrycznej (np. w głównej rozdzielni budynku),
- przy wrażliwych odbiornikach, zwłaszcza wyposażonych w coraz szerzej stosowane elementy elektroniczne – jako nieodpornych na przebiecia (np. przy sprzęcie komputerowym, RTV, aparaturze AKP i sterowniczej, urządzeniach telekomunikacyjnych, sprzęcie elektromedycznym, itp.),

- w liniach transmisji sygnałów, a zwłaszcza wprowadzanych z zewnątrz do budynku (np. teletechnicznych, antenowych, CCTV, itp.). Działanie zbieżne z funkcjonowaniem ochrony przeciwprzebieciowej zapewniają niektóre rozwiązania stosowane w budownictwie takie, jak:

- stosowanie żelbetowych ścian i stropów - silnie osłabiających impulsowe pola elektromagnetyczne wnikające do wnętrza obiektu budowlanego,

- przeprowadzania kabli przez metalowe przepusty rurowe wspawane w uziemioną płytę osadzoną w przegrodzie budowlanej – co zapewnia tłumienie szybko narastających przepięć.

Uwagi praktyczne:

Wszelkie prace związane z procesem inwestycyjnym przy obiekcie budowlanym (tzn. projektowanie, wznoszenie, ale też rozbudowa, modernizacja czy naprawa) oraz jego wyposażenie - powinny być koordynowane ze wszystkimi uczestnikami: projektantami (architektem, konstruktorem, elektrykiem), technologiemi decydującymi o zastosowanych procesach produkcyjnych i wyposażeniu, jak też służbami odpowiedzialnymi za nadzór i eksploatację obiektu budowlanego, Od poprawności różnych rozwiązań, pozornie mogących nie mieć związku z ochroną odgromową, zależy jej skuteczność i bezpieczeństwo ludzi i mienia. W szczególności dotyczy to poprawnego wykonania tzw. robót zanikających lub podlegających zakryciu, np. przygotowania zbrojenia elementów konstrukcyjnych i wykonywania połączeń poszczególnych jego prętów – koniecznych do sprawdzenia przez personel nadzoru inwestorskiego.

Podczas eksploatacji instalacji odgromowej należy chronić przed korozją jej elementy wrażliwe na działanie korozji. W szczególności dotyczy to malowania ochronnego miejsc spawania (np. fragmentów uziomu), czy miejsca wejścia w grunt przewodów uziemiających.

Wykorzystywanie jako uziomy metalowych rurociągów, fundamentów i konstrukcji oraz panczerzy kabli wymaga zgody

ich właściciela oraz ustalenia zasad wzajemnego powiadamiania się o przewidywanych zmianach konfiguracji. Zanieczyszczenie wierzchnich warstw izolacji (zwłaszcza przewodzącym nalotem czy pyłem lub drobinami metalu), jej zawilgocenie i nadpalenie (jako efekt przegrzania czy występowania prądu upływu) skutkuje możliwością wyładowań powierzchniowych, zwłaszcza podczas występowania przejściowych przepięć, co prowadzi do powstania zwarcia i zapalenia się wyładowania łukowego.

6

Ograniczanie ryzyka związanego z pozostałymi zagrożeniami

W tym rozdziale:

- Zagrożenia o charakterze termicznym i chemicznym
- 6.2. Zagrożenia o charakterze mechanicznym

6.1. Zagrożenia o charakterze termicznym i chemicznym

Podstawowymi zasadami zapewniającymi w praktyce zmniejszenie prawdopodobieństwa pożaru i wybuchu od urządzeń elektroenergetycznych są następujące działania, zasadniczo dokonywane przez projektanta/konstruktora (patrz: np. [31] [36] [37] [38] [46] [47] [54]) - z uwzględnieniem zasad wynikających z aktualnej wiedzy w dziedzinie ochrony przeciwpożarowej, a także niekiedy wg wskazówek rzeczoznawcy uzgadniającego dokumentację projektową:

- a) dobór przewodów tak, by ich obciążalność długotrwała była dostosowana do rzeczywistego prądu roboczego, a także spodziewanej wartości prądów zakłóceniovych,
- b) dobór silników uwzględniający rzeczywiste obciążenia oraz taki ich montaż w urządzeniu, by wytwarzana przez nie energia cieplna mogła zostać odpowiednio rozproszona,
- c) przewidzenie aparatury łączeniowej o odpowiednich parametrach (jak: kategoria, obciążalność, zdolność łączeniowa) i rodzaju budowy dostosowanym do przewidywanego zastosowania,
- d) zastosowanie aparatów zabezpieczających przed: przeciążeniem, zwarciami, przegrzaniem, pracą niepełnofazową – w urządzeniach (sieciach i instalacjach, maszynach i odbiornikach energii), a w przypadkach koniecznych – nawet zdublowanie zabezpieczeń,
- e) ograniczanie stosowania materiałów łatwopalnych i toksycznych, a zwłaszcza pochodnych polichlorku winylu oraz oleju stosowanego jako izolacja i chłodziwo,
- f) eliminacja urządzeń stwarzających możliwość iskrzenia, jeżeli spowodowałyby ono zainicjowanie pożaru bądź wybuchu,

g) zastosowanie urządzeń o odpowiednim stopniu ochrony (wyrażonym kodem IP),

h) zastosowanie atestowanych przegród (grodzi) na granicach stref pożarowych – w miejscach przejść okablowania,

i) wykorzystanie, w miarę możliwości, nowoczesnych aparatów w miejsce starszych i mniej wydajnych konstrukcji, np. w urządzeniach niskonapięciowych:

- zabezpieczeń różnicowoprądowych (gdyż zazwyczaj reagują na mniejsze wartości prądów zwarć doziemnych) zamiast nadmiarowoprądowych (wykrywających zwarcia międzyfazowe i doziemne o relatywnie większej wartości prądu) – wspomnieć należy o zasadzie ich stosowania w miejscach zwiększonego ryzyka związanego z porażeniem i pożarem,

- zabezpieczeń wykorzystujących wyłączniki automatyczne zamiast wkładek topikowych – jako rozwiązań zasadniczo szybszych w działaniu i pozwalających na stworzenie selektywnie działającej ochrony przed przeciążeniem i zwarciami,

- wyłączników silnikowych (wyposażonych w wyzwalacze przeciążeniowe i zwarciovowe) - zamiast przekaźników termicznych (reagujących tylko na przeciążenie i dlatego współpracujących z bezpiecznikami topikowymi reagującymi na zwarcia) do zabezpieczania silników.

Uwagi praktyczne:

Zabezpieczenie różnicowoprądowe uznawane jest za skuteczne urządzenie chroniące przed wywołaniem pożaru wskutek upływności prądu z obwodu – np. w instalacjach elektroenergetycznych obiektów budowlanych stosuje się takie urządzenia ochronne o wartości znamionowego prądu różnicowego do 500 mA [54].

Przekaźniki termiczne i wyłączniki, stosowane do ochrony silników elektrycznych przed skutkami przeciążeń i zwarć, będące w rzeczywistości rodzajem modelu cieplnego,

spełniają poprawnie swoje funkcje wówczas, gdy silnik ten może w sposób niezakłócony oddawać ciepło do otoczenia. Natomiast w momencie wystąpienia zakłóceń przy tym, np. spowodowanych zanieczyszczeniem jego radiatorów, bardziej skuteczne są rozwiązania oparte o pomiar rzeczywistej temperatury, czyli np. wykorzystujące termobimetal lub termistor umieszczony wewnątrz silnika, w pobliżu uzwojeń.

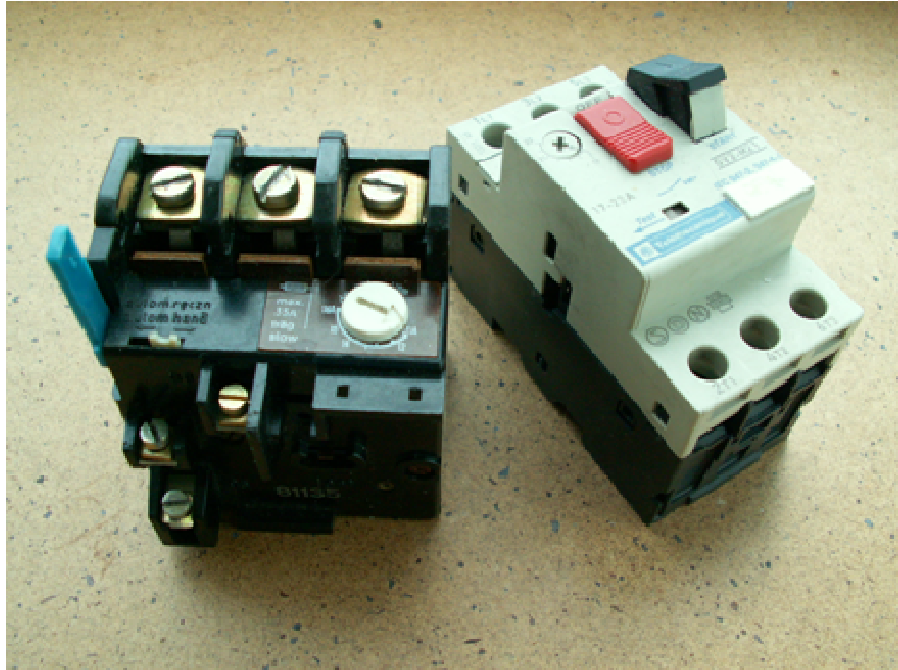
Niektóre przekaźniki termiczne (i większość wyłączników silnikowych) są wyposażone w wyzwalacz reagujący na szkodliwą asymetrię prądów fazowych, spowodowaną np. zanikiem napięcia w jednym z przewodów fazowych w obwodzie zasilającym silnik.

Większość przekaźników termicznych jest wyposażona w przycisk służący do resetowania aparatu po zadziałaniu w wyniku przeciążenia zabezpieczanego silnika. Natomiast niektóre z nich ponadto dysponują rozwiązaniem zapewniającym możliwość zaryglowania w pozycji „automatyczne” wciśniętego uprzednio przycisku resetowania - co wykorzystuje się, gdy dozwolony jest samoczynny rozruch zabezpieczanego silnika po wystygnięciu bimetalu w przekaźniku (tzn. nie występuje zagrożenie, np. mechaniczne). Natomiast gdy takie zagrożenie może wystąpić, a zatem nie dopuszcza się samoczynnego rozruchu silnika - pozostawia się suwak ryglowania w pozycji „ręczne”, co umożliwi swobodny ruch przycisku resetowania i wówczas wymagane jest celowe zadziałanie na niego operatora dla zresetowania aparatu po wystygnięciu bimetalu, warunkujące uruchomienie silnika po zakłóceniu.

Oczywistość wymienionych działań jest bezdyskusyjna, jednakże należy zawsze przestrzegać, by podczas eksploatacji rozpatrywanego urządzenia nie podejmować przy nim żadnych nieuprawnionych czynności, mogących zaburzyć poprawność funkcjonowania przewidzianych rozwiązań, oraz samodzielnie nie wprowadzać modyfikacji mogących pogorszyć bezpieczeństwo. Podobnie nie należy dopuszczać do użytku jakichkolwiek urządzeń pochodzących z niewiadomego źródła lub wykonanych we własnym zakresie, zwłaszcza z pominięciem jakiegokolwiek procedury (projektowania, nadzoru,

oceny zgodności, kontroli/badania) – jako wyrobów potencjalnie niebezpiecznych.

Oprócz wymienionych rozwiązań technicznych, względy zapewnienia poprawnej eksploatacji przemawiają za zastosowaniem rozwiązań o charakterze organizacyjnym, mających na celu:



Rys. 17. Przełącznik termiczny (po lewej) i wyłącznik silnikowy (po prawej). Widoczne pokrętki do zadawania prądu zadziałania, ustawiane zależnie od wartości prądu znamionowego zabezpieczanego silnika, a ponadto przycisk resetowania na przełączniku termicznym (tutaj o barwie niebieskiej) i suwak (tutaj o barwie białej) do ryglowania tego przycisku.

a) racjonalne użytkowanie, np. w zależności od rodzaju urządzenia:

- poprzez określenie dopuszczalnej mocy, jaką mogą być obciążane poszczególne obwody czy gniazda wtykowe – dla uniknięcia ich przeciążenia,

-opracowując instrukcje eksploatacji – realne i uwzględniające rzeczywiste ograniczenia,

-egzekwując poprawne oznaczanie identyfikacyjne elementów: zabezpieczeń, łączników, przewodów, itp.

- przestrzegając zasady by nie zaburzać normalnego oddawanie ciepła wydzielanego w urządzeniu – w szczególności nie wolno przesłaniać przewidzianych konstrukcyjnie otworów wentylacyjnych, ustawiać urządzenia w miejscu nieprzewiewnym, montować w zabudowie, itd. – jeżeli nie jest to wyraźnie dozwolone przez producenta,

- zakazując użytkowania przedłużaczy w stanie zwiniętym na bębnie – z racji ograniczenia w oddawaniu ciepła z wewnętrznych zwojów (zaleca się stosowanie przedłużaczy wyposażonych we własne zabezpieczenie termiczne),

- odłączając od źródła zasilania urządzenie odstawione z ruchu lub wycofane z użytkowania,

- zapewniając utrzymanie odpowiedniej rezerwy materiałów eksploatacyjnych i części zamiennych (w szczególności wkładek topikowych, źródeł światła) – dla uniknięcia prób zastąpienia zużytych elementów przypadkowymi zamiennikami,

b) regularne dokonywanie przeglądów i konserwacji :

- dla sprawdzenia stanu zacisków i połączeń (w szczególności ich właściwego docisku i usuwania warstw tlenków zwiększających rezystancję przejścia, a zwłaszcza eliminacji iskrzenia),

- w celu oczyszczenia radiatorów i usuwania zalegającego pyłu - mogącego utrudniać oddawanie ciepła i wnikać do wnętrza obudów,

c) zapewnienie odpowiedniego nadzoru dla wyeliminowania zjawiska prowadzenia napraw uszkodzonej izolacji przez nieupoważnione osoby i z zastosowaniem przypadkowych materiałów i technologii.

Uwagi praktyczne:

W przypadku korzystania z bezpieczników topikowych, należy zawsze przestrzegać podanych wcześniej zasad dotyczących:

- stosowania wkładki topikowej o wskazanej wartości prądu znamionowego i charakterystyce,
- zakazu naprawy lub modyfikacji wkładki topikowej.

Natomiast w przypadku korzystania z zabezpieczeń umożliwiających regulację nastaw (np. prądu, temperatury), należy przestrzegać, by zachowane były wskazania projektanta/konstruktora, a osoby nieupoważnione nie miały możliwości nieuprawnionej zmiany ustawionych parametrów.

Przy instalowaniu urządzeń oraz podczas ich eksploatacji należy bezwzględnie przestrzegać zaleceń i wskazówek projektanta i/lub producenta, zwłaszcza w odniesieniu do:

- zachowania odpowiedniej odległości od innych urządzeń, materiałów, wyposażenia, podłoża, itd. (w szczególności dotyczy to opraw oświetleniowych),
- możliwości stykania się z palnym podłożem – np. elementy urządzeń, osprzęt, oprawy oświetleniowe dopuszczone do stykania się (gdyż nie mają gorących lub żarzących się części) są cechowane znakiem trójkąta równobocznego z wpisaną literą F, a dopuszczone do montażu w meblach – analogicznym znakiem z wpisaną literą M.

Ponadto w przypadku występowania mieszaniny (atmosfery) wybuchowej [35] [50] lub jakichkolwiek wątpliwości w tej kwestii - należy bezwzględnie dokonać oceny zagrożenia przez specjalistę, udokumentowanej odpowiednim protokołem klasyfikacyjnym indywidualnie dla każdego przypadku (patrz: np. [8], [13], [72] zesz. 16). Bezpieczeństwo eksploatacji wymaga, by ściśle przestrzegać wymagań i wskazówek zawartych w:

- projekcie instalacji elektroenergetycznych,

- dokumentacji technicznej urządzenia,
- protokole zagrożenia wybuchem [28],
- wszelkich opracowanych i zatwierdzonych instrukcjach, itp., a w szczególności dotyczących: wykorzystywania materiałów/surowców (palnych, toksycznych), instalowania części zamiennych (np. źródeł światła), stosowania urządzeń o konkretnym rodzaju budowy (czyli tzw. wykonania przeciwwybuchowego), wykonania uziemień i ekwipotencjalizacji, zastosowania ochrony odgromowej i przeciwprzebieciowej, kwalifikacji personelu, itp.

Uwagi praktyczne:

Wykonanie instalacji elektroenergetycznej w strefie zagrożonej wybuchem wymaga zastosowania układu typu TN-S oraz zabezpieczeń przed wszelkimi możliwymi narażeniami.

Wykonanie przeciwwybuchowe urządzenia oznacza zazwyczaj wyposażenie jego w odpowiednie pokrywy, osłony, uszczelnienia, zamknięcia, itp. – niedopuszczalne jest więc eksploatowanie jego w stanie niekompletnym (bez tych elementów lub niedomkniętego), bądź po nieuprawnionych modyfikacjach.

Inicjacja wybuchu może nastąpić w nieprzewidywany i nagły sposób, np. wskutek zaiskrzenia w obwodzie elektrycznym, zaistnienia wyładowania elektrostatycznego czy zaindukowania prądu błędzającego impulsem elektromagnetycznym – stąd wynika konieczność ścisłego przestrzegania procedur wynikających z instrukcji.

6.2. Zagrożenia o charakterze mechanicznym

W odniesieniu do urządzeń mechanicznych takich, jak maszyny, elektronarzędzia i podobne odbiorniki - należy, zgodnie z aktualnymi zasadami wiedzy technicznej, stosować następujące zasady ogólne:

a) zastosować obwód sterowniczy [36] (zbudowany wg odrębnych reguł dla spełnienia kryteriów bezpieczeństwa funkcjonalnego), wyposażony np. w stycznik elektromagnetyczny i przyciski niestabilne do sterowania pracą obwodu silnika – co zapobiega skutkom niewłaściwych parametrów zasilania oraz samorozruchowi mechanizmu po powrocie napięcia zasilania i przy podwójnym zwarcie bocznikującym przycisk startu,

Uwagi praktyczne:

a) zasilanie takiego obwodu powinno odbywać się z transformatora o rozdzielonych uzwojeniach: pierwotnym i wtórnym (dopuszczalne jest bezpośrednie zasilanie z obwodów głównych w jednosilnikowych maszynach o prostym układzie sterowania, np. w elektronarzędziach),

b)uzwojenie wtórne powinno być jednym biegunem połączone z układem połączeń ochronnych, a drugi biegun należy zabezpieczyć przed skutkami zwarć i przeciążeń,

cewka stycznika przyłączona jest jednym biegunem do uziemionego bieguna obwodu sterowniczego;

c)zastosować przełącznik do kontroli kolejności następstwa napięć fazowych – co zapobiega ewentualnym skutkom niewłaściwego kierunku wirowania w maszynie przyłączanej do różnych trójfazowych gniazd wtykowych

d)przewidzieć układ (urządzenie) do awaryjnego zatrzymania/wyłączenia [24] – z uwzględnieniem wyniku procesu oceny ryzyka, a odpowiednio oznakowane urządzenie (element sterowniczy) powinno być zawsze dostępne i musi zapewniać zatrzymanie niebezpiecznego ruchu czy wyłączenie poprzez wykonanie tylko jednej czynności,

e)każdy napęd musi mieć możliwość jednoznacznego zatrzymania [5] (co nie zawsze jest zapewniane przez elektroniczne przetwornice), każda maszyna musi mieć możliwość odłączenia izolacyjnego od źródła zasilania [36], a fragmenty wyposażenia elektrycznego stwarzające

jakiegokolwiek zagrożenie przy dokonywaniu czynności eksploatacyjnych – wskutek omyłkowego lub nieupoważnionego rozruchu – wyposażać należy w rozłącznik konserwacyjny, charakteryzujący się możliwością zaryglowania w stanie otwartym (np. poprzez zamknięcie jego dźwigni/pokrętła na kłódkę),

f)zapobieganie skutkom nadmiernego wzrostu prędkości obrotowej można zrealizować poprzez zastosowanie silników niepodatnych na takie zjawisko (np. indukcyjnych), a w przypadku niemożności – stosując regulator ograniczający prędkość obrotową,

g)element sterowniczy do uruchamiania ma być tak skonstruowany, aby nie był podatny na przypadkowe pobudzenie (np. w wyniku nieuwagi operatora lub wykonania przypadkowego ruchu) - natomiast by uruchomienie wymagało celowego i świadomego wykonania danej czynności [5] [10] [27],

h)przestrzegać ogólnych tendencji przy oznakowaniu elementów sterowniczych i sygnalizacyjnych [26] [36] [41], np. barwami:

czerwona – stan awaryjny/zagrożenie, pożar, konieczność ewakuacji,

żółta/pomarańczowa – ostrzeżenie, stan anormalny,

niebieska – rozkaz, konieczność działania/interwencji,

zielona – brak zagrożenia, gotowość, normalne: stany, czynności, warunki,

biała – wiadomość,
nadzorowanie/potwierdzenie/uruchamianie,

czarna – zatrzymywanie pracy (stop roboczy),

szara – inne stany lub funkcje,
uruchamianie/zatrzymywanie.

7

Literatura

W tym rozdziale:

- Ustawy i rozporządzenia
- Wybrane normy
- Publikacje, periodyki
- Źródła internetowe

Ustawy i rozporządzenia:

1. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dn. 12 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (tj. DzU.2003.169.1650, z późn. zm.)
2. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 16 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych (Dz.U.1999.74.836)
3. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 17 września 1999 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach i instalacjach energetycznych (DzU.1999.80.912)
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU.2002.75.690, z późn. zm.)
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 30 października 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy (DzU.2002.191.1596, zm. DzU.2003.178.1745)
6. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych (DzU.2003.47.401)
7. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 28 kwietnia 2003 r. w sprawie szczegółowych zasad stwierdzania posiadania kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci (DzU.2003.89.828, z późn. zm.)
8. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 21 kwietnia 2006 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (DzU.2006.80.563)
9. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 21 sierpnia 2007 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla sprzętu elektrycznego (DzU.2007.155.1089)
10. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dn. 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (DzU.2008.199.1228)
11. Ustawa z dn. 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (tj. DzU.2006.156.1118, z późn. zm.)

12. Ustawa z dn. 10 kwietnia 1997 r. - Prawo energetyczne (tj. DzU.2003.15.1504)
13. Ustawa z dn. 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (tj. DzU.2002.147.1229, z późn. zm.)
14. Ustawa z dn. 2 marca 2000 r. o ochronie niektórych praw konsumentów oraz o odpowiedzialności za szkodę wyrządzoną przez produkt niebezpieczny (DzU.2000.22.271, z późn. zm.)
15. Ustawa z dn. 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności (tj. DzU.2004.204.2087, z późn. zm.)
16. Ustawa z dn. 12 września 2002 r. o normalizacji (DzU.2002.169.1386, z późn. zm.)
17. Ustawa z dn. 12 grudnia 2003 r. o ogólnym bezpieczeństwie produktów (DzU.2003.229.2275, z późn. zm.)
18. Ustawa z dn. 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych (DzU.2004.92.881, z późn. zm.)
19. Ustawa z dn. 29 lipca 2005 r. o zużytych sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (DzU.2005.180.1495, z późn. zm.)

Wybrane normy

20. PN-E-04700:1998/Az1:2000 Urządzenia i układy elektryczne w obiektach elektroenergetycznych - Wytyczne przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych
21. PN/E-05003 (norma arkuszowa) Ochrona odgromowa obiektów budowlanych / PN-EN 62305 (norma arkuszowa) Ochrona odgromowa
22. PN-E-05115:2002 Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV
23. PN-EN ISO 12100 (norma arkuszowa) Bezpieczeństwo maszyn - Pojęcia podstawowe, ogólne zasady projektowania
24. PN-EN ISO 13850:2008 Bezpieczeństwo maszyn - Stop awaryjny - Zasady projektowania (oryg.)
25. PN-EN ISO 14121 (norma arkuszowa) Bezpieczeństwo maszyn - Ocena ryzyka
26. PN-EN 981+A1:2009 Bezpieczeństwo maszyn - System dźwiękowych i wizualnych sygnałów niebezpieczeństwa oraz sygnałów informacyjnych (oryg.)

27. PN-EN 1037+A1:2008 Bezpieczeństwo maszyn - Zapobieganie niespodziewanemu uruchomieniu (oryg.)
28. PN-EN 1127 (norma arkuszowa) Atmosfery wybuchowe - Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem
29. PN-EN 50102:2001 Stopnie ochrony przed zewnętrznymi uderzeniami mechanicznymi zapewniane przez obudowy urządzeń elektrycznych (Kod IK)
30. PN-EN 50110-1:2005 (U) Eksploatacja urządzeń elektrycznych
31. PN-EN 50144 (norma arkuszowa) Bezpieczeństwo użytkowania narzędzi ręcznych o napędzie elektrycznym
32. PN-EN 50164 (norma arkuszowa) Elementy urządzenia piorunochronnego
33. PN-EN 50310:2007 Stosowanie połączeń wyrównawczych i uziemiających w budynkach z zainstalowanym sprzętem informatycznym
34. PN-EN 60073:2003 Zasady podstawowe i bezpieczeństwa przy współdziałaniu człowieka z maszyną, oznaczanie i identyfikacja - Zasady kodowania wskaźników i elementów manipulacyjnych (oryg.)
35. PN-EN 60079-10:2003 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem - Część 10: Klasyfikacja obszarów niebezpiecznych (oryg.)
36. PN-EN 60204-1:2006+A1:2009 Bezpieczeństwo maszyn - Wyposażenie elektryczne maszyn - Część 1: Wymagania ogólne (oryg.)
37. PN-EN 60335 (norma arkuszowa) Bezpieczeństwo elektrycznych przyrządów do użytku domowego i podobnego
38. PN-EN 60439 (norma arkuszowa) Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe
39. PN-EN 60445:2007 Zasady podstawowe i bezpieczeństwa przy współdziałaniu człowieka z maszyną, oznaczanie i identyfikacja - Oznaczenia identyfikacyjne zacisków urządzeń i zakończeń przewodów (oryg.)
40. PN-EN 60446:2008 Zasady podstawowe i bezpieczeństwa przy współdziałaniu człowieka z maszyną, oznaczanie i identyfikacja - Oznaczenia identyfikacyjne przewodów barwami albo cyframi (oryg.)
41. PN-EN 60447:2005 Podstawowe zasady oraz zasady bezpieczeństwa dotyczące współdziałania człowieka z maszyną, znakowanie i identyfikacja - Zasady manewrowania (oryg.)

42. PN-EN 60529:2003 Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy (Kod IP)
43. PN-EN 60601-1:2006 Medyczne urządzenia elektryczne – Cz. 1: Ogólne wymagania bezpieczeństwa i podstawowe wymagania techniczne
44. PN-EN 60664 (norma arkuszowa) Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia
45. PN-EN 60743:2005 Prace pod napięciem - Terminologia dotycząca urządzeń, sprzętu i narzędzi
46. PN-EN 60745 (norma arkuszowa) Narzędzia ręczne o napędzie elektrycznym
47. PN-EN 61029 (norma arkuszowa) Bezpieczeństwo użytkowania narzędzi przenośnych o napędzie elektrycznym
48. PN-EN 61082 (norma arkuszowa) Przygotowanie dokumentów używanych w elektrotechnice
49. PN-EN 61140:2005+A1:2008 Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym - Wspólne aspekty instalacji i urządzeń
50. PN-EN 61241-10:2005 Urządzenia elektryczne do stosowania w obecności pyłów palnych - Część 10: Klasyfikacja obszarów, w których mogą być obecne pyły palne (oryg.)
51. PN-EN 61340 (norma arkuszowa) Elektryczność statyczna
52. PN-EN 62305 (norma arkuszowa) Ochrona odgromowa
53. PN-IEC 60050 (norma arkuszowa) Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki
54. PN-IEC 60364 (norma arkuszowa) Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych / PN-HD 60364 (norma arkuszowa) Instalacje elektryczne niskiego napięcia
55. PN-IEC 61312 Ochrona przed piorunowym impulsem elektromagnetycznym
56. PN-N-18001:2004 Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy - Wymagania
57. PN-N-18002:2000 Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy - Ogólne wytyczne do oceny ryzyka zawodowego
58. PN-88/E-08501 Urządzenia elektryczne. Tablice i znaki bezpieczeństwa

59. PN-91/E-05010 Zakresy napięciowe instalacji elektrycznych w obiektach
60. PN-92/N-01256 (norma arkuszowa) Znaki bezpieczeństwa
61. Raport techniczny IEC nr 479-1. Skutki działania prądu na ludzi i zwierzęta domowe. Część 1: Aspekty ogólne

Publikacje, periodyki

62. Atest – ochrona pracy. Miesięcznik, Sigma-NOT, Kraków
63. Bezpieczeństwo Pracy – nauka i praktyka. Miesięcznik, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
64. BHP w energetyce. Wydanie I, Europex, Kraków, 2003.
65. Elektroinstalator. Miesięcznik, Instalator Polski Sp. z o. o., Warszawa.
66. Elektrotechnika i elektronika dla nieelektryków. Wyd. 6, WNT, Warszawa, 2004
67. Informator Ochrony Pracy. Kwartalnik, Stowarzyszenie Ochrony Pracy, Warszawa.
68. INPE – informacje o normach i przepisach elektrycznych. Miesięcznik, Centralny Ośrodek Szkoleń i Wydawnictw Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Warszawa.
69. Inżynier budownictwa. Miesięcznik Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa, Warszawa.
70. Jabłoński W.: Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych niskiego i wysokiego napięcia. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2008.
71. Markiewicz H.: Instalacje elektryczne. Wyd. 8 zmienione, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2008.
72. Podręcznik INPE dla elektryków. Publikacja seryjna, Centralny Ośrodek Szkoleń i Wydawnictw Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Warszawa.
73. Poradnik inżyniera elektryka. Tom 1., Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2009. Tom 3., Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2005.
74. Sałasiński K.: Bezpieczeństwo elektryczne w zakładach opieki zdrowotnej. Wyd.2 poprawione i uzupełnione, Centralny Ośrodek

Szkoleń i Wydawnictw Stowarzyszenia Elektryków Polskich,
Warszawa, 2008.

75. Sowa A.: Ochrona przed przepięciami w instalacji elektrycznej
w obiektach budowlanych. Kontekst, Kraków, 1999.

76. Wiadomości Elektrotechniczne. Miesięcznik, Sigma-NOT,
Warszawa.

Przykładowe źródła internetowe

77. WWW.cbt.edu.pl

78. WWW.ciop.pl

79. WWW.electropedia.org

80. WWW.elektroeko.pl

81. WWW.epbd.pl

82. WWW.fachowyelektryk.pl

83. WWW.leonardo-energy.org

84. WWW.ochrona.net.pl

85. WWW.oznakowanie-ce.pl

86. WWW.paragraf34.pl

87. WWW.sep.com.pl

88. WWW.spinpol.com.pl

89. WWW.ziad.bielsko.pl