



Politechnika Wrocławska

Instytut Energoelektryki

**Materiały pomocnicze
do wykładu
z przedmiotu**

BEZPIECZEŃSTWO ELEKTRYCZNE

oraz

**SYSTEMY OCHRONY PRZED ZAGROŻENIAMI PRĄDEM
ELEKTRYCZNYM**

Opracowanie:

dr inż. Lech Danielski

Uzupełnienie i aktualizacja:

dr inż. Janusz Konieczny

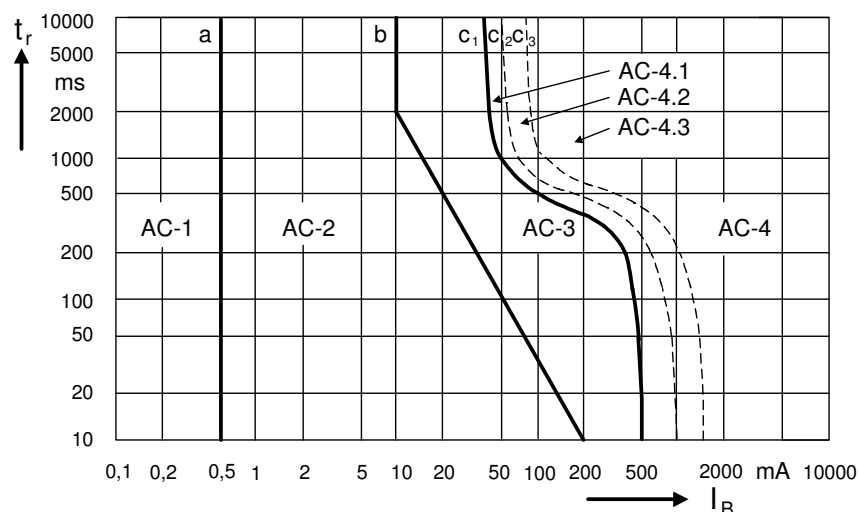
Wrocław 2010

Spis treści

	Str.
1. Podstawowe informacje o oddziaływaniu prądu na organizm człowieka	3
2. Oznaczenia przewodów, zacisków urządzeń, wskaźników i przycisków	5
2.1. Wstęp.....	5
2.2. Oznaczenia przewodów elektrycznych za pomocą barw.....	5
2.3. Oznaczenia przewodów elektrycznych cyframi	6
2.4. Nowe oznaczenia typu przewodu i jego parametrów	6
2.5. Oznaczenia alfanumeryczne zacisków urządzeń	9
2.6. Oznaczenia graficzne funkcji przewodów na schematach elektrycznych	10
2.7. Oznaczenie zacisków urządzeń symbolami graficznymi.....	10
2.8. Oznaczenia barwne wskaźników i przycisków.....	10
3. Sieci i instalacje elektryczne niskiego napięcia	12
3.1. Klasyfikacja sieci i instalacji niskiego napięcia ze względu na zastosowany system uziemień	12
3.2. Napięcia znamionowe sieci wg IEC.....	13
3.3. Zakresy napięciowe instalacji elektrycznych niskiego napięcia.....	14
4. Klasy ochronności urządzeń elektrycznych	15
5. Stopnie ochrony urządzeń elektrycznych zapewnione przez obudowy (kod IP)	15
6. Struktura i środki ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia	17
6.1. Czynniki wpływające na stan zagrożenia porażeniowego w instalacjach elektrycznych	17
6.2. Struktura ochrony przeciwporażeniowej	19
7. Ochrona podstawowa (przed dotykiem bezpośrednim).....	20
7.1. Informacje ogólne.....	20
7.2. Ochrona polegająca na izolowaniu części czynnych	20
7.3. Ochrona przy użyciu ogrodzeń lub obudów	20
7.4. Ochrona przy użyciu barier	21
7.5. Ochrona przez umieszczenie poza zasięgiem ręki.....	21
7.6. Ochrona uzupełniająca ochronę podstawową.....	22
8. Ochrona przy uszkodzeniu (przed dotykiem pośrednim)	23
8.1. Informacje ogólne.....	23
8.2. Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania w instalacjach z zabezpieczeniami przetężeniowymi	23
8.2.1. W sieci TN	23
8.2.2. W sieci TT.....	26
8.2.3. W sieci IT	27
8.3. Urządzenia samoczynnie wyłączające zasilanie	32
8.4. Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieciach TN, TT oraz IT z zabezpieczeniami różnicowoprądowymi	33
8.4.1. Budowa i zasada działania wyłączników różnicowoprądowych	33
8.4.2. Parametry znamionowe wyłączników różnicowoprądowych.....	36
8.4.3. Instalowanie wyłączników różnicowoprądowych	37
8.4.4. Wybór znamionowego prądu zadziałania i miejsca stosowania wyłączników różnicowoprądowych	40
8.4.5. Uwagi do stosowania wyłączników różnicowoprądowych	42
8.5. Ochrona przez zastosowanie urządzeń II klasy ochronności	43
8.6. Ochrona przez zastosowanie izolowanego stanowiska.....	44
8.7. Ochrona przez zastosowanie nieuziemionych połączeń wyrównawczych	44
8.8. Ochrona przez zastosowanie separacji elektrycznej	45
9. Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim.....	48
10. Nowe wymagania stawiane ochronie przeciwporażeniowej w normie PN-HD 60364-4-41.....	51
10.1. Wstęp.....	51
10.2. Zakres tematyczny normy PN-HD 60364-4-41	51
10.3. Wymagania podstawowe	51
10.4. Wymagania dla układów TN i TT stawiane ochronie przez samoczynne wyłączenie zasilania ...	54
10.5. Inne nowe wymagania zawarte w normie PN-HD 60364-4-41	58
11. Uziemienia i połączenia wyrównawcze w instalacjach niskiego napięcia	60
11.1. Ogólne zadania uziemień w sieciach rozdzielczych	60
11.2. Zadania uziemień ochronnych w sieciach TN	60

11.3. Rola uziemień w utrzymaniu potencjału ziemi na przewodach PEN (PE) i połączonych z nimi częściach przewodzących dostępnych	61
11.4. Rola uziemień ochronnych w ograniczaniu asymetrii napięć wywołanych zwarciami doziemnymi z pominięciem przewodu PEN (PE)	62
11.5. Rola uziemień w wyłączaniu zasilania podczas zwarcia do uszkodzonego przewodu PEN (PE) .	62
11.6. Rola uziemień w ograniczaniu napięć na przerwany przewodzie PEN (PE) wywołanych zwarciami do tego przewodu	63
11.7. Rola uziemień w ograniczaniu napięć na przewodach PEN (PE) podczas zwarć	63
11.8. Uziemienia przewodu ochronnego PE i przewodów wyrównawczych CC w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia	64
11.9. Rola połączeń wyrównawczych w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia	67
11.10. Budowa i prowadzenie przewodów PE, PEN i CC	71
12. Instalacje elektryczne w pomieszczeniach wyposażonych w wannę lub natrysk	73
12.1. Uwagi ogólne.....	73
12.2. Klasyfikacja stref w łazienkach.....	73
12.3. Ochrona przeciwporażeniowa	77
12.4. Dobór i montaż sprzętu i osprzętu elektrycznego	79
13. Nowe zasady wykonywania badań instalacji elektrycznych niskiego napięcia	81
13.1. Wstęp.....	81
13.2. Zakres badań odbiorczych instalacji elektrycznych	81
13.3. Zakres badań eksploatacyjnych (okresowych) instalacji elektrycznych.....	83
13.4. Szczegółowe wymagania normy PN-HD 60364-6 dotyczące niektórych badań.....	84
13.4.1. Sprawdzanie ciągłości przewodów.....	84
13.4.2. Badanie rezystancji izolacji instalacji elektrycznej	84
13.4.3. Badanie ochrony przez zastosowanie SELV, PELV lub separacji elektrycznej	85
13.4.4. Badanie samoczynnego wyłączenia zasilania	86
13.4.5. Badanie ochrony uzupełniającej.....	86
13.5. Dokumentowanie wyników badań	87
14. Organizacja bezpiecznej pracy przy urządzeniach elektroenergetycznych	88
14.1. Wymagania ogólne.....	88
14.2. Kwalifikacje osób.....	89
14.3. Podział prac przy urządzeniach i instalacjach elektrycznych w zależności od zbliżenia do części czynnych będących pod napięciem	91
14.4. Podział prac na czynnych urządzeniach i instalacjach elektrycznych w zależności od rodzaju wymaganego polecenia	93
14.5. Pracownicy odpowiedzialni za organizację i wykonanie pracy.....	93
14.6. Polecenie wykonania pracy	93
14.7. Przygotowanie miejsca pracy	95
14.8. Dopuszczenie do pracy	97
14.9. Wykonywanie pracy	97
14.10. Przerwanie i wznowienie pracy	97
14.11. Zakończenie pracy i uruchomienie urządzeń.....	98
15. Sprzęt ochronny i znaki bezpieczeństwa	99
15.1. Rodzaje sprzętu ochronnego.....	99
15.2. Ewidencjonowanie sprzętu ochronnego	101
15.3. Rozmieszczenie sprzętu ochronnego	102
15.4. Przechowywanie sprzętu ochronnego.....	102
15.5. Okresowe badanie sprzętu ochronnego	102
15.6. Zasady posługiwania się sprzętem ochronnym.....	103
15.7. Znaki bezpieczeństwa i tablice ostrzegawcze.....	105

1. PODSTAWOWE INFORMACJE O ODDZIAŁYWANIU PRĄDU NA ORGANIZM CZŁOWIEKA

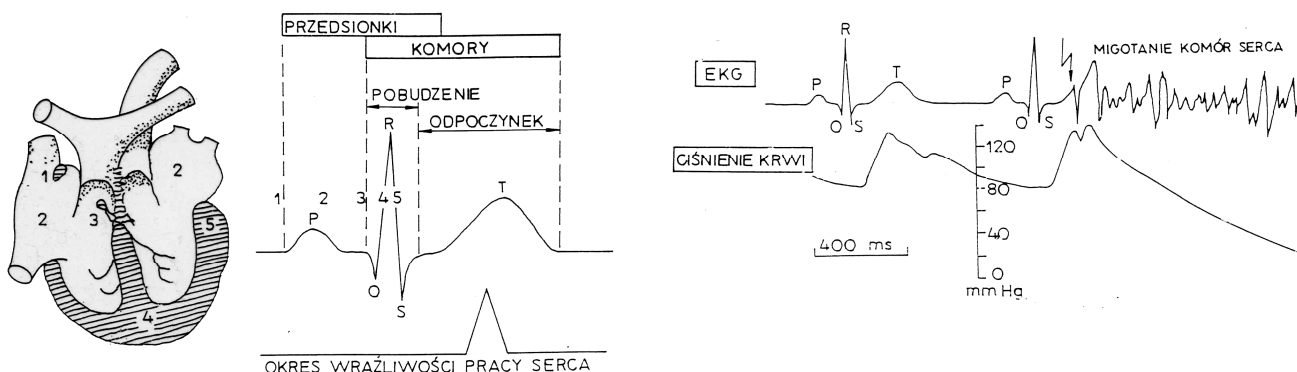


Rys. 1.1. Strefy czasowo-prądowe skutków fizjologicznych prądów rażeniowych przemiennych o wartości do 10 A i częstotliwości 15 – 100 Hz, płynących na drodze lewa ręka – obie stopy: a – próg odczuwania i reakcji, b – granica samouwolnienia, c – próg fibrylacji komór serca

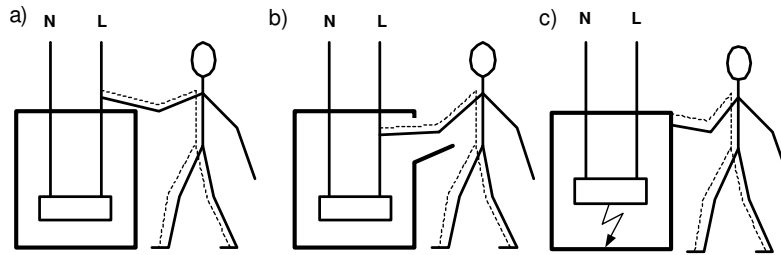
Tablica 1.1. Skutki fizjologiczne przepływu prądu przemiennego przez ciało człowieka

Oznaczenie strefy	Granice strefy	Skutki rażenia prądem elektrycznym
AC – 1	< a	Zwykle brak reakcji.
AC – 2	a do b ¹⁾	Zwykle brak szkodliwych skutków fizjologicznych.
AC – 3	b do c ₁	Zwykle brak uszkodzeń organicznych. Prawdopodobieństwo pojawienia się skurczów mięśni i trudności w oddychaniu przy czasach rażenia dłuższych od 2 s. Odwracalne zakłócenia przy powstawaniu bodźców i pobudzaniu serca. Możliwość powstawania przejściowego migotania przedsionków serca i przejściowego zatrzymania pracy serca (zakłócenia wzrastające wraz ze wzrostem prądu).
AC – 4	> c ₁	Niebezpieczeństwo wystąpienia skutków patofizjologicznych takich jak: zatrzymanie pracy serca, zatrzymanie oddechu, poważne oparzenia (niebezpieczeństwo rośnie wraz ze wzrostem prądu).
AC – 4.1	c ₁ do c ₂	Prawdopodobieństwo migotania komór serca do 5%.
AC – 4.2	c ₂ do c ₃	Prawdopodobieństwo migotania komór serca od 5% do 50%.
AC – 4.3	> c ₃	Prawdopodobieństwo migotania komór serca powyżej 50%.

1) Dla czasów rażenia krótszych od 10 ms linia graniczna b ma stałą wartość 200 mA.



Rys.1.2. Zapis EKG zdrowego człowieka i w czasie migotania komór serca



Rys. 1.3. Rażenie przy dotyku bezpośrednim (a, b) i pośrednim ©

Bezpośrednią przyczyną przepływu prądu rażeniowego jest dotknięcie przez rażonego dwóch części przewodzących o różnych potencjałach. Zwykle jest to część przewodząca urządzenia elektrycznego i część przewodząca obca (części przewodzące nie będące częściami urządzenia elektrycznego). Najczęściej częściami przewodzącymi obcymi są przewodzące stanowiska mające potencjał ziemi. Rozróżnia się dwie sytuacje rażenia:

1. **rażenie przy dotyku bezpośrednim** – przez dotknięcie części czynnej, czyli części będącej w czasie normalnej pracy urządzenia pod napięciem: a) – spowodowane dotknięciem żyły przewodu o uszkodzonej izolacji, b) – spowodowane dotknięciem części czynnej wewnątrz urządzenia podczas nieostrożnej pracy pod napięciem lub na skutek uszkodzenia obudowy urządzenia.
2. **rażenie przy dotyku pośrednim** – przez dotknięcie części przewodzącej dostępnej, czyli części, która w czasie normalnej pracy urządzenia nie znajduje się pod napięciem, a na której napięcie pojawiło się na skutek uszkodzenia izolacji roboczej urządzenia

Skutki działania prądu elektrycznego na ciało człowieka zależą od:

- wartości napięcia (do 1 kV i powyżej 1 kV),
- natężenia prądu rażeniowego,
- czasu przepływu prądu rażeniowego,
- drogi przepływu prądu przez ciało człowieka,
- rodzaju prądu rażeniowego,
- stanu psychofizycznego rażonego.

Skutki bezpośrednie działania prądu elektrycznego to:

- odczuwanie bólu,
- skurcze mięśni prowadzące do uniemożliwienia samouwolnienia, a nawet złamania kości,
- zaburzenia krążenia krwi, oddechu, funkcjonowania zmysłów wzroku, słuchu i równowagi,
- oparzenia skóry i organów wewnętrznych,
- elektroliza krwi i płynów ustrojowych,
- utrata przytomności,
- migotanie komór serca (fibrylacja), zazwyczaj prowadząca do śmierci.

Skutki pośrednie działania prądu elektrycznego to:

- urazy mechaniczne ciała w wyniku upuszczenia trzymanego przedmiotu,
- upadki z wysokości,
- oparzenia,
- pożary,
- skutki oddziaływania łuku elektrycznego.

2. OZNACZENIA PRZEWODÓW, ZACISKÓW URZĄDZEŃ, WSKAŹNIKÓW I PRZYCISKÓW

2.1. Wstęp

Ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim jest zwykle realizowana zarówno przez producenta urządzeń elektrycznych, jak i przez projektanta oraz wykonawcę instalacji elektrycznej. Na tych ostatnich leży obowiązek skoordynowania ochrony zastosowanej przez producenta urządzeń z ochroną realizowaną w instalacji. Wymaga to dobrej znajomości oznaczeń cech urządzeń, przewodów i instalacji, które są związane z ochroną przeciwporażeniową.

2.2. Oznaczenia przewodów elektrycznych za pomocą barw (PN-EN 60446:2004, PN-HD 308 S2:2002 (U))

Zaleca się aby oznaczenia barwne stosować na całej długości przewodu (żyły) - albo za pomocą barwnej izolacji, albo za pomocą barwnych znaczników. Dopuszcza się stosowanie oznaczeń barwnych tylko w dostępnych i widocznych miejscach. Stosuje się oznaczenia:

- **jednobarwne** dla przewodów nie pełniących funkcji przewodu ochronnego,
- **dwubarwne** dla przewodu pełniącego funkcję przewodu ochronnego (PE, PEN, uziemiającego, wyrównawczego).

Oznaczenia jednobarwne

Norma PN-EN 60446 dopuszcza oznaczanie przewodów następującymi barwami (12): **czarną, brązową, czerwoną, pomarańczową, żółtą, zieloną, niebieską, fioletową, szarą, białą, różową, turkusową.**

Przy stosowaniu jednobarwnych oznaczeń przewodów należy przestrzegać następujących postanowień normy:

1. Ze względów bezpieczeństwa **pojedyncza barwa żółta i pojedyncza barwa zielona** nie powinny być stosowane w przypadku, gdy istnieje możliwość pomyłki.
2. **Barwa jasnoniebieska** jest przeznaczona dla przewodu neutralnego albo środkowego. W przewodzie wielożyłowym, w którym nie ma żyły neutralnej lub środkowej barwę jasnoniebieską można stosować dla oznaczenia każdej żyły z wyjątkiem żyły ochronnej.
3. Jeżeli stosuje się oznaczenie gołego przewodu neutralnego lub środkowego barwą jasnoniebieską, to oznaczenie to powinno być zastosowane na całej długości lub w postaci pasków o szerokości $15 \div 100$ mm umieszczonych we wszystkich widocznych i dostępnych miejscach, w odległościach, przy których jest zapewniona możliwość identyfikacji.
4. Dla oznaczenia barwami przewodów fazowych zaleca się stosować kolor brązowy i czarny (w normie PN-HD 308 S2 dodano jeszcze kolor szary).

Oznaczenia dwubarwne

Zgodnie z postanowieniami normy PN-EN 60446, oznaczenia przy użyciu kombinacji barw podanych dla oznaczeń jednobarwnych może być stosowane pod warunkiem, że nie istnieje możliwość pomyłki. Dlatego barwy zielona i żółta nie powinny być stosowane dla oznaczania jednobarwnego przewodów, gdy wymagane jest w układzie sieciowym stosowanie oznaczenia dwubarwnego zielono-żółtego.

Kombinacja dwubarwna **zielono-żółta** powinna być używana tylko dla oznaczenia **przewodów ochronnych** (przewodu PE, przewodu uziemiającego E, przewodu wyrównawczego CC oraz przewodu łączącego z obudową MM).

Oznaczenie dwubarwne gołych przewodów ochronnych powinno być takie, aby na każdym oznaczanym odcinku o długości 15 mm jeden kolor zajmował co najmniej 30 % lecz nie więcej niż 70 % powierzchni przewodu, a drugi pokrywał pozostałą część.

Oznaczenie dwubarwne gołych przewodów ochronnych powinno być wykonane na całej długości przewodu lub na każdej części dostępnej przewodu.

Przewód izolowany PEN powinien być oznaczony na całej długości:

- a) barwą zielono-żółtą, a na końcach dodatkowo oznacznikami jasnoniebieskimi (tak, aby równocześnie widoczne były wszystkie wymienione barwy), lub
- b) barwą jasnoniebieską, a na końcach dodatkowo znacznikami zielono-żółtymi.

2.3. Oznaczenia przewodów elektrycznych cyframi (PN-EN 60446)

System cyfr stosowany bywa do oznaczania przewodów stanowiących elementy wyrobów. Można go stosować do oznaczania przewodów, za wyjątkiem przewodów oznaczonych kombinacją zielono-żółtą.

Do oznaczeń należy stosować cyfry arabskie. Oznaczenie cyfrowe powinno być wyraźne i trwałe. Wszystkie cyfry powinny być czytelne i kontrastowe w stosunku do barw izolacji.

Przy oznaczaniu cyframi przewodów wielożyłowych, wszystkie żyły powinny być oznaczone kolejnymi cyframi. Cyfry należy rozmieszczać w regularnych (jednakowych) odstępach na całej długości przewodu, przy czym kolejne cyfry powinny być odwrócone w stosunku do cyfr sąsiednich. W celu uniknięcia pomyłek cyfry 6 i 9 (lub jakiegokolwiek inne kombinacje zawierające te cyfry) należy podkreślać (6, 9, 19, 16).

Umiejscowienie i odstęp między cyframi powinny być podane w normach określonych wyrobów.

2.4. Nowe oznaczenia typu przewodu i jego parametrów

Międzynarodowy system oznaczeń przewodów elektrycznych zawiera norma PN-HD 361 S3: 2002 (Klasyfikacje przewodów i kabli). Oznaczenia te są rozbudowane w porównaniu do tradycyjnych. Składają się one z 3 części.

Zakres tematyczny kolejnych części oznaczeń przewodów wg systemu międzynarodowego zestawiono w tablicy 2.1, a poszczególne oznaczenia literowe i cyfrowe oraz ich znaczenie zestawiono w tablicach kolejnych.

Tablica 2.1. Zakres tematyczny części oznaczeń przewodów wg międzynarodowego systemu oznaczeń

Część oznaczenia	Zakres tematyczny części
1	- Związek z system normalizacyjnym (powiązania z normami) - Napięcie znamionowe przewodu
2	- Materiały izolacyjne - Niemetalowe powłoki i pokrycia (jeżeli są) - Pokrycia metalowe (jeżeli są) - Cech budowy, np. kształt przewodu (jeżeli są potrzebne) - Materiał żył - Budowa żył
3	- Liczba żył izolowanych i wymiary żył

Tablica 2.2. Oznaczenia stosowane w części 1 międzynarodowego systemu oznaczeń przewodów

Pozycja symbolu	Symbol	Opis symbolu
Powiązania z normami	H	Przewód odpowiadający wymaganiom norm zharmonizowanych
	A	Przewód Uznanego Typu Krajowego, wymieniony w odpowiednich załącznikach do norm zharmonizowanych
Napięcie znamionowe	01	100/100 V
	03	300/300 V
	05	500/500 V
	07	450/750 V

Tablica 2.3. Oznaczenia stosowane w części 2 międzynarodowego systemu oznaczeń przewodów

Pozycja symbolu	Symbol	Opis symbolu
Materiał izolacyjny i niemetalowe materiały powłokowe	B	Guma etylenowo-propylenowa do pracy ciągłej w temperaturze 90 °C
	G	Kopolimer etylen/octan winylu
	J	Oplot z włókna szklanego
	M	Materiał nieorganiczny
	N	Polichloropren (lub materiał równorzędny)
	N2	Specjalna mieszanka polichloroprenowa
	N4	Polietylen chloropsulfonowany lub polietylen chlorowany
	N8	Specjalna mieszanka polichloroprenowa
	Q	Poliuretan
	Q4	Poliamid
	R	Guma naturalna lub guma etylenowo-propylenowa lub z równorzędnego syntetycznego elastomeru do pracy ciągłej w temperaturze 60°C
	S	Kauczuk silikonowy
	T	Oplot włóknisty, impregnowany lub nie, nałożony na ośrodek
	T6	Oplot włóknisty, impregnowany lub nie, nałożony na poszczególne żyły przewodu wielożyłowego
	V	Polwinit zwyczajny
	V2	Polwinit ciepłoodporny do pracy ciągłej w temperaturze 90°C
	V3	Polwinit do przewodów układanych w niskiej temperaturze
	V4	Polwinit usieciowany
	V5	Polwinit specjalny olejoodporny
	Z	Usieciowana mieszanka poliolefinowana o małej emisji gazów korozyjnych, do przewodów o małej emisji podczas spalania
	Z1	Termoplastyczna mieszanka poliolefinowana o małej emisji gazów korozyjnych, do przewodów o małej emisji podczas spalania
Pokrycia metalowe	C	Koncentryczna żyła miedziana
	C4	Ekran miedziany nałożony na ośrodek
Specjalne elementy budowy przewodu	D3	Element nośny złożony z jednego lub kilku nośników, umieszczony w środku przewodu okrągłego lub płaskiego
	D5	Centralny wypełniacz nie przenoszący naprężenia
Przewody o budowie specjalnej	(brak)	Przewód okrągły
	H	Przewód płaski o „rozdzieranych” żyłach, w powłoce lub bez powłoki
	H2	Przewód płaski o „nierozdzieranych” żyłach
	H6	Przewód płaski trzy- lub więcej żyłowy, wg HD 359 lub EN 50214
	H7	Przewód z podwójną warstwą izolacji nałożoną przez wytłaczanie
	H8	Przewód rozciągany
Materiał żył	(brak)	Miedź
	-A	Aluminium
Budowa żył	-D	Żyła giętka stosowana w przewodach spawalniczych wg HD 22 część 6 (giętkość inna niż kl.5 wg HD 383)
	-E	Żyła bardzo giętka stosowana w przewodach spawalniczych wg HD 22 część 6 (giętkość inna niż kl.6 wg HD 383)
	-F	Żyła giętka do przewodów i sznurów giętkich (giętkość kl. 5 wg HD 383)
	-H	Żyła giętka do przewodów i sznurów giętkich (giętkość kl.6 wg HD 383)
	-K	Żyła giętka do przewodów do układania na stałe
	-R	Sztywna, okrągła żyła skręcona
	-U	Sztywna okrągła żyła jednodrutowa
	-Y	Szykowa (tzn. o małym przekroju), zbudowana z pojedynczych cienkich nitek, na które nawinięto spiralnie cienkie tasiemki miedziane (bardzo duża elastyczność)

Tablica 2.4. Oznaczenia stosowane w części 3 międzynarodowego systemu oznaczeń przewodów

Pozycja symbolu	Symbol	Opis symbolu
Liczba żył izolowanych	(liczba)	Liczba żył
Występowanie żyły zielono-żółtej	X	Brak żyły ochronnej w przewodzie
	G	Przewód z żyłą ochronną
Wymiar żyły	(liczba)	Przekrój (średnica ?) znamionowa żyły, s, mm ²
	Y	W przypadku żył szychowych gdy nie podaje się przekroju

Liczba symboli i kolejność ich występowania w oznaczeniu przewodu lub kabla przedstawiono w tablicy 2.5. Jeżeli w danym oznaczeniu istnieje potrzeba zastosowania dwóch lub więcej symboli podanych w tej samej kolumnie tablicy 2.5, to należy je wymieniać kolejno zaczynając od osi żyły w kierunku promieniowym.

Tablica 2.5. Kolejność zastosowania symboli w opisie przewodu

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Część 1		Część 2						Część 3		
Rodzaj normy	Napięcie znam.	Materiał Izol.	Powł. metalowe	Powł. nie metal.	Elem. budowy i kon. spec	Mat. żyły	Bud. żyły	Licz. żył	Wskaźnik	Przekrój żyły mm ²
H A	01	B	C	B	D3	Brak symb. (miedź) -A	-D	1	X	Y
	03	G	C4	G	D5		-E	2	G	0,5
	05	J		J	Brak symbolu (przew. okr.)		-F	3		0,75
	07	M		N, N2			-H	4		1
		N,N4		N4,N8			-K	5		1,5
		R		Q,Q4			-R	itd.		2,5
		S		R			-U			4
		V,V2		S			-Y			6
		V3,V4		T						10
		Z,Z1		V,V2						16
				V3,V4						25
				V5						itd.
				Z,Z1						

Przykłady oznaczeń, wg systemu międzynarodowego przewodów o prostej budowie:

H07V-U1X1 -Przewód odpowiadający wymaganiom norm zharmonizowanych (H), napięcie znamionowe 450/750 V (07), izolacja z polwinitu zwyczajnego (V), żyła miedziana (brak symbolu materiału), sztywna, okrągła jednodrutowa (-U), przewód jednożyłowy, którego izolacja ma oznaczenia barwę inną niż dwubarwne zielono- żółte, żyła ma przekrój 1 mm² (1X1). Przewód o takiej budowie jest w Polsce oznaczany DY 450/750-1.

H05 V-K1G0,5 - Przewód odpowiadający wymaganiom norm zharmonizowanych (H), napięcie znamionowe 300/500 V (05), izolacja z polwinitu zwyczajnego (V), żyła miedziana (brak symbolu materiału), giętka stosowana do przewodów do układania na stałe, jednodrutowa z miedzi miękkiej o przekroju 0,5 mm²; przewód z izolacją oznaczoną dwubarwnie- zielono-żółtą. Przewód o takiej budowie jest w Polsce oznaczany LgYżo 300/500-0,5

H03VH-H2X1,5 - Przewód odpowiadający wymaganiom norm zharmonizowanych (H) o napięciu znamionowym 300/300 V (03) z izolacją z polwinitu zwyczajnego (V), przewód płaski z żyłami rozdzielalnymi (H), żyły wielodrutowe bardzo giętke (H), przewód dwużyłowy o przekroju każdej żyły 1,5 mm²,bez żyły oznaczonej dwubarwnie zielono-żółto (X)

H03VVH2-F3G1 - Przewód odpowiadający wymaganiom norm zharmonizowanych (H), napięcie znamionowe 300/300 V (03), izolacja z polwinitu zwyczajnego (V), powłoka z polwinitu (V), przewód płaski z żyłami nierozdzielalnymi (H2), żyły wielodrutowe giętke (-F), przewód trójżyłowy w tym z żyłą oznaczoną barwami zieloną i żółtą o przekroju każdej żyły 1 mm² (3G1)

2.5. Oznaczenia alfanumeryczne zacisków urządzeń (PN-EN 60445)

Dwa zakończenia elementu (urządzenia) oznacza się **kolejnymi liczbami** tak, aby liczba nieparzysta była mniejsza od liczby parzystej, np. 1 i 2. Pośrednie punkty pojedynczego elementu (np. odgałęzienie) oznacza się kolejnymi liczbami wzrastającymi np. 3, 4, 5. Liczby dla punktów pośrednich powinny być większe niż dla punktów końcowych. Numeracja dla punktów pośrednich powinna rozpoczynać się od punktu najbliższego punktowi końcowemu oznaczonemu najmniejszą liczbą. W ten sposób punkty pośrednie oznaczone będą liczbami 3, 4, 5 jeżeli punkty końcowe są liczbami 1 i 2.

Jeżeli w jednym urządzeniu zgrupowane jest wiele podobnych elementów pojedynczych to stosuje się jedną z następujących metod:

- oba punkty końcowe i punkty pośrednie, jeżeli te ostatnie istnieją, oznacza się literami poprzedzającymi liczby, o których była mowa wyżej, np. U, V, W dla faz układu trójfazowego prądu przemiennego; tak więc punkty końcowe jednej fazy mogą być oznaczone U1 i U2 a pozostałych faz - V1 i V2 oraz W1 i W2,
- oba punkty końcowe i punkty pośrednie, jeżeli one występują, oznacza się liczbami poprzedzającymi liczby o których była mowa wcześniej, jeżeli identyfikacja faz za pomocą liter nie jest konieczna lub możliwa; dla uniknięcia pomyłek liczby te powinny być oddzielone kropką; punkty końcowe jednego elementu mogą więc być oznaczone 1.1 i 1.2, a drugiego elementu – 2.1 i 2.2,
- oba punkty końcowe każdego elementu oznacza się za pomocą różnych kolejnych liczb, przy czym liczba nieparzysta powinna być mniejsza od liczby parzystej dla każdego elementu (np. 21 i 22).

W zestawach składających się z podobnych elementów, mających takie same oznaczenia literowe, w celu rozróżnienia tych elementów, oznaczenia uzupełnia się odpowiednimi liczbami umieszczonymi przed literami, np. 1U1 i 1U2 oraz 2U1 i 2U2.

W systemie oznaczeń za pomocą zapisu alfanumerycznego należy używać **duże litery alfabetu łacińskiego i cyfry arabskie**. Nie należy używać liter **I** i **O** (litery te są stosowane do oznaczenia położenia zestyków łączników) oraz liter ze znakami diakrytycznymi **Å, Č, Ć, Š, Ł** itp. Mogą być używane znaki graficzne „+”, „-”.

Zaciski urządzeń przeznaczonych do przyłączania przewodów o określonym przeznaczeniu oraz oznaczenia przewodów o określonym przeznaczeniu powinny być oznaczone oznaczeniami alfanumerycznymi zestawionymi w poniższej tablicy 2.6.





Tablica 2.6. Oznaczenia alfanumeryczne zacisków urządzeń i przewodów

Rodzaj (przeznaczenie) przewodu	Oznaczenie zacisków urządzenia	Oznaczenie przewodu
Zasilanie prądem przemiennym:		
Faza 1	U	L1
Faza 2	V	L2
Faza 3	W	L3
Przewód neutralny	N	N
Zasilanie prądem stałym:		
Biegun dodatni	C	L+
Biegun ujemny	D	L-
Przewód środkowy	M	M
Przewód ochronny uziemiony	PE	PE
Przewód ochronno-neutralny	-	PEN
Przewód uziemiający	E	E
Przewód uziemiający bezzakłóceńowy	TE	TE
Przewód łączący z obudową	MM	MM
Przewód wyrównawczy	CC	CC

2.6. Oznaczenia graficzne funkcji przewodów na schematach elektrycznych (PN-IEC 60364-3)

Na schematach elektrycznych stosowane są znaki graficzne funkcji przewodów zestawione w tablicy 2.7.







Tablica 2.7. Oznaczenia graficzne funkcji przewodów

Oznaczenie graficzne	Funkcja przewodu
	Przewód fazowy (L)
	Przewód neutralny (N)
	Przewód ochronny (PE)
	Przewód ochronno – neutralny (PEN)

2.7. Oznaczenie zacisków urządzeń symbolami graficznymi (PN-EN 60417 - 1)

Symbole graficzne zastępujące napisy stosuje się na obudowach urządzeń, obok zacisków, w pobliżu urządzeń, na rysunkach dokumentacji, w książkach itp. W tablicy 2.8 zestawiono niektóre symbole związane z zagrożeniem porażeniowym i ochroną przeciwporażeniową.

Tablica 2.8. Niektóre symbole graficzne zastępujące napisy na urządzeniach

Symbol	Znaczenie	Symbol	Znaczenie
	zacisk uziemienia ochronnego		zacisk połączenia z obudową
	Zakaz przyłączania przewodu ochronnego		Zacisk połączenia wyrównawczego
	zacisk uziemienia (symbol ogólny)		Niebezpieczeństwo porażenia elektrycznego

2.8. Oznaczenia barwne wskaźników i przycisków (PN-EN-60073)

Ze względu na specyficzne rozumienie lub znaczenie każdej barwy, poszczególne barwy powinny odróżniać się wyraźnie od siebie. Dlatego dla **wskaźników świetlnych** przyjmuje się barwy światła: **czerwoną, żółtą, zieloną, niebieską, białą**, a dla przycisków: **czerwoną żółtą, zieloną, niebieską, czarną białą, szarą**.

Barwę wskaźnika świetlnego lub przycisku należy dobrać w zależności od informacji jaka ma być przekazana operatorowi (obsłudze) lub w zależności od operacji zainicjowanej przez przyciśnięcie guzika przycisku.

Wskaźniki świetlne i przyciski podświetlane mogą mieć **światło ciągłe** lub **światło migające**. Światło ciągłe jest przeznaczone do sygnalizacji potwierdzającej ustalenie się normalnych warunków pracy. Światło migające przeznaczone jest do sygnalizacji mającej na celu zwrócenie szczególnej uwagi na przekazywaną informację. W szczególności należy go stosować do: zwrócenia uwagi obsługi, spowodowania natychmiastowego działania, wskazania rozbieżności między stanem wymaganym a stanem istniejącym urządzenia, sygnalizowania

zmiany stanu. Norma podaje wartości częstotliwości mignięć i czasów trwania światel migających przy okresowych zmianach częstotliwości.

Znaczenie barw wskaźników świetlnych podano w tablicy 2.9. **Wskaźniki świetlne** są przeznaczone do przekazywania następujących informacji:

- **wskazania** (przyciągnięcia uwagi obsługi lub wskazania, że powinna zostać wykonana odpowiednia czynność),
- **potwierdzenia** (potwierdzenia wydanego rozkazu, stanu lub warunków a także potwierdzenia zakończenia zmiany czy okresu przejściowego).

Przyciski mogą być wykorzystywane przy sterowaniu pracą urządzeń odbiorczych, tj.: przy zatrzymywaniu, wyłączaniu, uruchamianiu lub innym działaniu urządzenia. Wymagane lub zalecane (przy wskazaniu kilku barw) zastosowania barw dla oznaczenia przycisków zestawiono w tablicy 2.10.

Tablica 2.9. Znaczenie barw wskaźników świetlnych

Barwa	Znaczenie	Objaśnienie
CZERWONA	niebezpieczeństwo lub alarm	ostrzeżenie przed niebezpieczeństwem lub sygnalizacja stanu wymagającego natychmiastowego działania (np. niebezpieczeństwo stwarzane przez części będące pod napięciem lub ruchome)
ŻÓŁTA	ostrzeżenie	zmiana lub groźba zmiany warunków (np. przeciążenie dopuszczalne w określonym czasie)
ZIELONA	bezpieczeństwo	wskazanie bezpiecznej sytuacji, zezwolenie na dalsze działanie, droga otwarta (np. urządzenie znajduje się w stanie beznapięciowym)
NIEBIESKA	specyficzny stan w konkretnym przypadku	może oznaczać każdy stan lub przypadek, którego nie oznacza się barwą czerwoną, żółtą lub zieloną
BIAŁA	neutralne (bez specyficznego zastosowania)	dowolne znaczenie gdy istnieje wątpliwość co do użycia barwy czerwonej, żółtej lub zielonej oraz np. dla potwierdzenia (np. łącznik elektryczny zamknięty)

Tablica 2.10. Znaczenie barw przycisków

Barwa	Znaczenie
CZERWONA	użycie w przypadku zagrożenia (np. zatrzymanie awaryjne)
	zatrzymanie (STOP) wyłączenie (WYŁ, OFF) (np. wyłączenie łącznika)
ŻÓŁTA	interwencja (np. usunięcie nienormalnych warunków lub niedopuszczenie do powstania nienormalnych warunków)
ZIELONA	uruchomienie (START), załączenie (ZAŁ, ON) (np. załączenie łącznika)
NIEBIESKA	działanie specyficzne , którego nie obejmują barwy: CZERWONA, ŻÓŁTA, ZIELONA (np. nastawienie określonego rodzaju lub rytmu pracy)
CZARNA, SZARA, BIAŁA	działanie mające inne znaczenie niż podane powyżej

3. SIECI I INSTALACJE ELEKTRYCZNE NISKIEGO NAPIĘCIA

3.1. Klasyfikacja sieci i instalacji niskiego napięcia ze względu na zastosowany system uziemień (PN-IEC 60364-3)

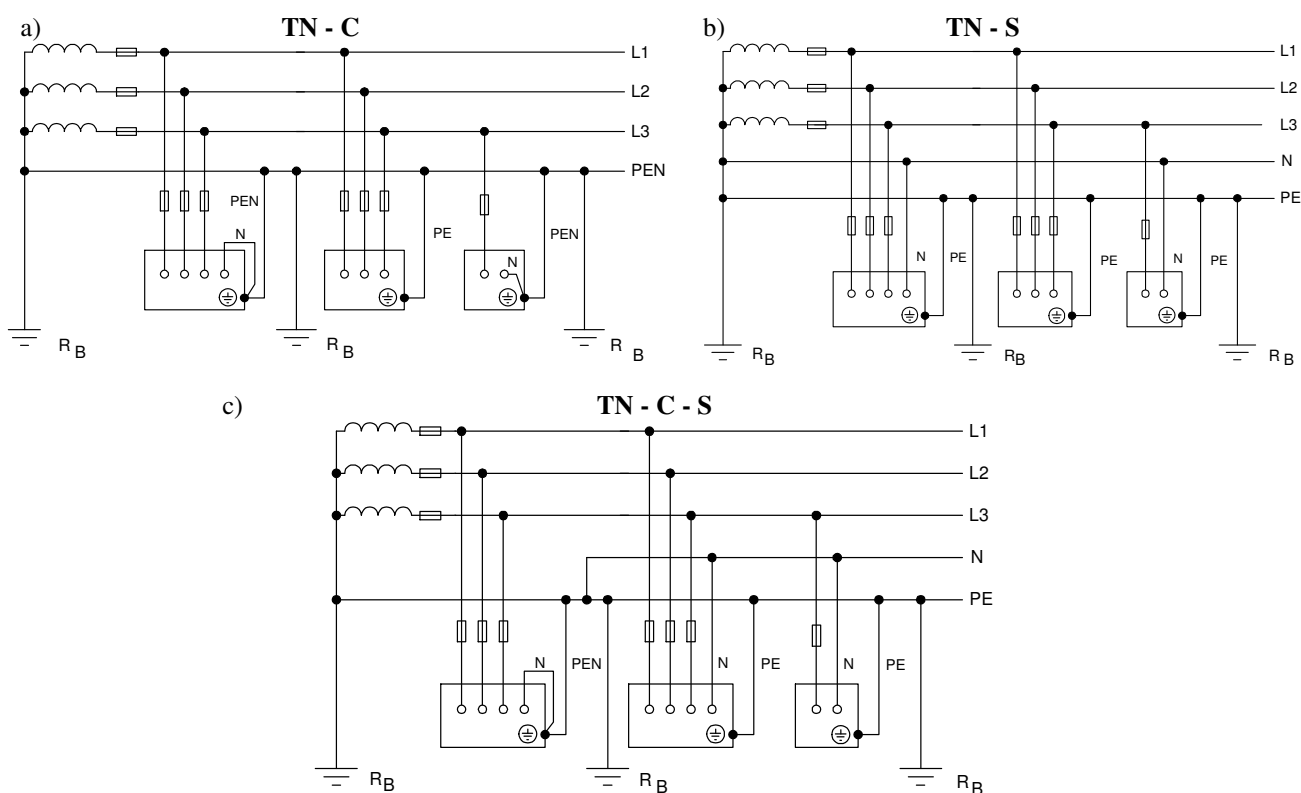
Ze względu na zastosowany system uziemień sieci i instalacje niskiego napięcia dzieli się na:

- sieci typu **TN**: **TN-C**, **TN-S**, **TN-C-S**,
- sieci typu **TT**,
- sieci typu **IT**.

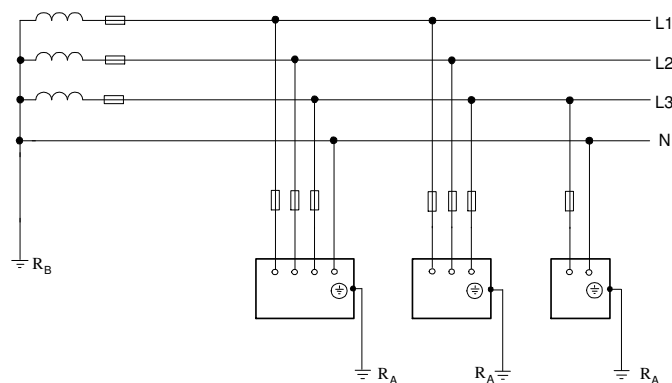
Tablica. 3.1. Znaczenie liter używanych w oznaczaniu typu sieci

Litera	Znaczenie
Pierwsza	T - bezpośrednie połączenie punktu neutralnego sieci z ziemią I - części czynne sieci izolowane od ziemi; punkt neutralny sieci może być uziemiony przez bezpiecznik iskierkowy lub przez element o dużej impedancji
Druga	N - bezpośrednie połączenie dostępnych części przewodzących z uziemionym punktem neutralnym T - bezpośrednie połączenie części przewodzących dostępnych z uziomem niezależnym od uziomu punktu neutralnego sieci
Trzecia lub czwarta	Związek przewodów N i PE: C - funkcje przewodu neutralnego N i ochronnego PE pełni jeden przewód PEN S - funkcje przewodu neutralnego N i ochronnego PE pełnią dwa osobne przewody

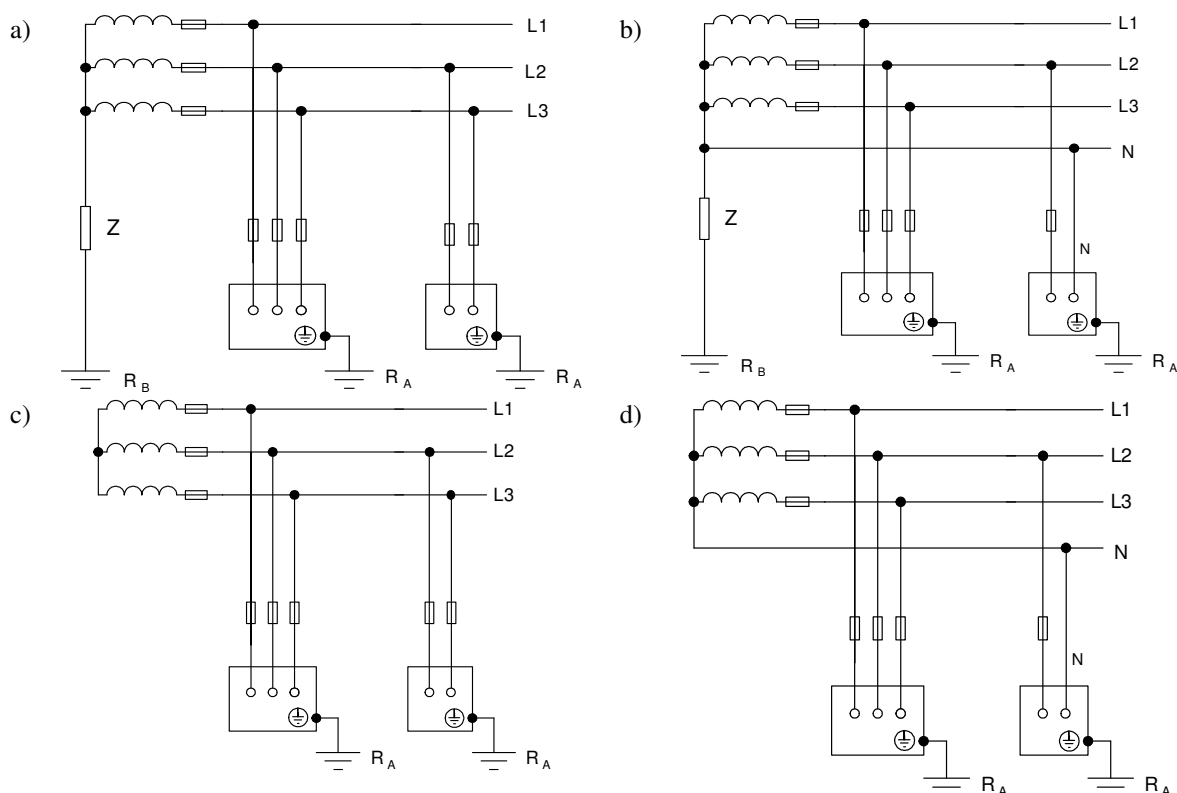
Na rysunkach 3.1 - 3.3 przedstawiono przykłady schematów układów sieciowych TN, TT i IT (zabezpieczenia obwodów oznaczono umownie symbolem bezpiecznika).



Rys. 3.1. Przykłady sieci i instalacji niskiego napięcia o układach typu TN:
a) TN-C, b) TN-S, c) TN-C-S



Rys. 3.2. Przykład sieci i instalacji niskiego napięcia o układzie typu TT



Rys. 3.3. Przykłady sieci i instalacji niskiego napięcia o układzie typu IT:

- a) sieć z uziemionym punktem neutralnym przez impedancję, bez przewodu N,
- b) sieć z uziemionym punktem neutralnym przez impedancję i z przewodem N (układ niezalecany),
- c) sieć z izolowanym punktem neutralnym bez przewodu N,
- d) sieć z izolowanym punktem neutralnym z przewodem N (układ niezalecany)

3.2. Napięcia znamionowe sieci wg IEC (PN-IEC 60038)

Norma podaje:

- napięcia znamionowe sieci i urządzeń niskiego napięcia (100 - 1000 V) a.c.,
- napięcia znamionowe sieci trakcyjnych a.c. i d.c.,
- napięcia znamionowe sieci i najwyższe napięcia urządzeń średniego napięcia (> 1 - 35 kV),
- napięcia znamionowe sieci i najwyższe napięcia urządzeń wysokiego napięcia (> 35 - 220 kV),
- najwyższe napięcia urządzeń najwyższych napięć (> 245 kV),
- napięcia znamionowe urządzeń niższe od 120 V a.c. lub 750 V d.c.

Napięcie znamionowe sieci trójfazowych czteroprzewodowych niskiego napięcia o częstotliwości 50 Hz wynoszą: 230/400 V oraz 400/690 V. Napięcie znamionowe sieci trójfazowych trzyprzewodowych niskiego napięcia o częstotliwości 50 Hz wynosi 1000 V.

Mniejsze wartości napięć znamionowych sieci trójfazowych czteroprzewodowych oznaczają napięcie fazowe a większe – napięcie międzyfazowe. Napięcie znamionowe sieci trójfazowych trzyprzewodowych oznacza napięcie międzyfazowe.

Napięcie w punkcie dostawy (na granicy z instalacją) nie może odbiegać od napięcia znamionowego więcej niż o $\pm 10\%$ a spadek napięcia w instalacji nie może przekroczyć 4 %. Tak więc, napięcie użytkowe (na odbiorniku) nie może odbiegać od napięcia znamionowego sieci o więcej niż + 10 % - 14 %.

Standardy jakościowe napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych niskiego i wysokiego napięcia podane są w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z 25.09.2000 r. w sprawie szczegółowych zasad przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych (...). Podano tam wymagania dotyczące: dopuszczalnych odchyłeń napięcia od znamionowego w czasie 15 min., dopuszczalne współczynniki odkształcenia napięcia oraz zawartość wyższych harmonicznych w odniesieniu do harmonicznej podstawowej. Poza tym podano dopuszczalne odchylenia częstotliwości w sieci, dopuszczalny łączny czas trwania w ciągu roku wyłączeń awaryjnych i inne wymagania dotyczące jakości obsługi odbiorców.

3.3. Zakresy napięciowe instalacji elektrycznych niskiego napięcia (PN-91/E - 05010)

Z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej ustalono dwa zakresy napięciowe instalacji elektrycznych niskiego napięcia:

1. ZAKRES NAPIĘCIOWY I, który dotyczy:

- instalacji, w których ochrona przed porażeniem jest zapewniona, pod pewnymi warunkami, przez bardzo niskie napięcie znamionowe,
- instalacji, w których napięcie znamionowe jest ograniczone do bardzo niskiej wartości ze względów funkcjonalnych.

2. ZAKRES NAPIĘCIOWY II, który dotyczy instalacji elektrycznych obiektów budownictwa mieszkaniowego, handlowego i przemysłowego (napięć systemów powszechnego zasilania).

Tablica 3.2. Zakresy napięciowe instalacji prądu przemiennego

Zakres napięciowy	Napięcie znamionowe (V) systemów instalacji uziemionych		Napięcie znamionowe (V) systemów instalacji izolowanych lub pośrednio uziemionych ¹⁾
	faza – ziemia	faza - faza	faza - faza
I	$U \leq 50$	$U \leq 50$	$U \leq 50$
II	$50 < U \leq 600$	$50 < U \leq 1000$	$50 < U \leq 1000$
1) Przy zastosowaniu przewodu neutralnego, urządzenia przyłączone między przewód fazowy i neutralny powinny mieć izolację dobraną na napięcie międzyfazowe.			

Tablica 3.3. Zakresy napięciowe instalacji prądu stałego

Zakres napięciowy	Napięcie znamionowe (V) systemów instalacji uziemionych		Napięcie znamionowe (V) systemów instalacji izolowanych lub pośrednio uziemionych ¹⁾
	biegun – ziemia	biegun - biegun	biegun – biegun
I	$U \leq 120$	$U \leq 120$	$U \leq 120$
II	$120 < U \leq 900$	$120 < U \leq 1500$	$120 < U \leq 1500$
1) Przy zastosowaniu przewodu środkowego, urządzenie przyłączone między biegun i przewód środkowy powinno mieć izolację dobraną na napięcie międzybiegunowe.			




4. KLASY OCHRONNOŚCI URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH (PN-EN 61140)

Oznaczenie klasą ochronności wskazuje środki, które samodzielnie lub ze środkami zastosowanymi w instalacji zapewniają ochronę przeciwporażeniową. Urządzenia mogą być oznaczone 4-ma klasami ochronności: 0, I, II i III (tablica 4.1).

Klasyfikacja dotyczy urządzeń elektrycznych i elektronicznych o napięciu nie przekraczającym 440 V wartości skutecznej prądu przemiennego między fazami (250 V między fazą a ziemią).

Klasyfikacja nie dotyczy urządzeń typu otwartego, które nie są wyposażone w środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim.

Tablica 4.1. Klasy ochronności urządzeń elektrycznych

Oznaczenie cyfrowe	Główne cechy urządzenia istotne dla ochrony przeciwporażeniowej	Oznaczenie graficzne
0	- izolacja podstawowa, - brak zacisku ochronnego, - przewód ruchomy zasilający (jeżeli jest) bez żyły PE, wtyczka bez styku PE	-
I	- izolacja podstawowa, - zacisk ochronny, - przewód ruchomy zasilający (jeżeli jest) z żyłą PE a wtyczka ze stykiem PE ¹⁾	
II	- izolacja podwójna lub izolacja wzmocniona, - brak zacisku ochronnego, - przewód ruchomy zasilający (jeżeli jest) bez żyły PE, wtyczka bez styku PE ^{2), 3)}	
III	- bardzo niskie napięcie znamionowe (z obwodu SELV lub PELV), - brak zacisku ochronnego ⁴⁾ , - izolacja podstawowa, - przewód ruchomy zasilający (jeżeli jest) bez żyły PE, wtyczka bez styku PE ^{2), 3)}	

1) Jeżeli wtyczka nie ma styku ochronnego to urządzeniu przypisuje się klasę 0.
2) Urządzenie w obudowie metalowej może być wyposażone w środki pozwalające na przyłączenie przewodu wyrównawczego do tej obudowy jeżeli jest to dopuszczone przez odpowiednią normę.
3) Urządzenie może być wyposażone w środki przeznaczone do uziemienia funkcyjnego (roboczego) jeżeli jest to dopuszczone przez odpowiednią normę.
4) Zacisk taki może mieć urządzenie zasilane z obwodu PELV.

5. STOPNIE OCHRONY URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH ZAPEWNIONE PRZEZ OBUDOWY (KOD IP) (PN-EN 60529)

Układ kodu IP (przykład oznaczeń stopnia ochrony):

	IP	2	3	C	H
Elementy kodu (Internal Protection)					
Pierwsza charakterystyczna cyfra (cyfra 0 do 6 lub litera X)					
Druga charakterystyczna cyfra (cyfra 0 do 8 lub litera X)					
Dodatkowa litera (nieobowiązuje) (litery A, B, C, D)					
Uzupełniająca litera (nieobowiązuje) (litery H, M, S, W)					

Przypisanie drugiej charakterystycznej cyfry do 6 włącznie oznacza, że spełnione są również wymagania wszystkich niższych cyfr charakterystycznych.

Uważa się, że obudowa oznaczona drugą charakterystyczną cyfrą tylko 7 lub 8 nie musi spełniać wymagań cyfry 5 lub 6, jeżeli nie jest oznaczona podwójnym kodem w sposób podany w tablicy 5.1. Znaczenie elementów kodu IP przedstawiono w tablicy 5.2.

Tablica 5.1. Zakres zastosowania obudów oznaczonych podwójnym kodem

Oznaczenie	Zakres zastosowania
IPX5/IPX7	różnorodny
IPX6/IPX7	różnorodny
IPX5/IPX8	różnorodny
IPX6/IPX8	różnorodny
IPX7	ograniczony
IPX8	ograniczony

Tablica 5.2. Elementy kodu IP i ich znaczenie

Element kodu	IP	Znaczenie dla ochrony urządzenia	Znaczenie dla ochrony ludzi
Pierwsza charakterystyczna cyfra	0 1 2 3 4 5 6	przed dostaniem się obcych ciał stałych - bez ochrony - o średnicy ≥ 50 mm - o średnicy $\geq 12,5$ mm - o średnicy $\geq 2,5$ mm - o średnicy $\geq 1,0$ mm - ograniczona ochrona przed pyłem - pyłoszczelne	Przed dostępem do części niebezpiecznej. - bez ochrony - wierzchem dłoni - palcem - narzędziem - drutem - drutem - drutem
Druga charakterystyczna cyfra	0 1 2 3 4 5 6 7 8	przed wnikaniem wody i jej skutkami - bez ochrony - kapiącej pionowo - kapiącej (do 15°) - natryskiwanej - rozbryzgiwanej - lanej strugą - lanej silną strugą - przy zanurzeniu krótkotrwałym - przy zanurzeniu ciągłym	
Dodatkowa litera (nieobowiązkowa)	A B C D		Przed dostępem do części niebezpiecznej. - wierzchem dłoni - palcem - narzędziem - drutem
Uzupełniająca litera (nieobowiązkowa)	H M S W	uzupełniające informacje dotyczące - aparatów wysokiego napięcia - ruch części urz. w czasie prób wodą - postoju części ruchomych urządzenia w czasie prób wodą - warunków klimatycznych	

6. STRUKTURA I ŚRODKI OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ W INSTALACJACH ELEKTRYCZNYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

6.1. Czynniki wpływające na stan zagrożenia porażeniowego w instalacjach elektrycznych

Środki ochrony przeciwporażeniowej powinny być dobrane do stopnia zagrożenia porażeniowego, jaki może występować w miejscu przebywania ludzi. Stopień ten zależy od:

- prawdopodobieństwa znalezienia się człowieka pod napięciem, w wyniku którego nastąpi porażenie,
- parametrów prądu rażeniowego (prądu przepływającego przez ciało człowieka).

W praktyce przyjmuje się, że na dobór środków ochrony przeciwporażeniowej mają wpływ:

- sposób użytkowania odbiorników elektrycznych,
- kwalifikacje osób użytkujących instalacje i odbiorniki elektryczne,
- styczność ludzi z potencjałem ziemi,
- elektryczna rezystancja (impedancja) ciała człowieka.

Pierwsze w/w trzy czynniki wpływają na prawdopodobieństwo wystąpienia rażenia prądem elektrycznym. Prawdopodobieństwo to rośnie, gdy człowiek długotrwale styka się z urządzeniami elektrycznymi. Tak więc urządzenia stacjonarne, z którymi zwykle nie jest potrzebna długotrwała styczność, stwarzają mniejsze prawdopodobieństwo zagrożenia niż odbiorniki ręczne.

Im wyższe kwalifikacje osób w zakresie eksploatacji urządzeń elektrycznych, tym mniejsze prawdopodobieństwo niepotrzebnego dotykania urządzeń elektrycznych i porażenia. Kwalifikacje osób stykających się z urządzeniami elektrycznymi są skodyfikowane w części 3 normy PN-IEC 60364 w sposób podany w tablicy 6.1.

Tablica 6.1. Kwalifikacje osób stykających się z instalacjami i odbiornikami elektrycznymi

Ozna-czenie	Osoby	Opis kwalifikacji osób
BA 1	Osoba postronna	Osoba, która nie jest osobą wykwalifikowaną ani poinstruowaną
BA 2	Dziecko	Dziecko w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania dzieci, np. w ośrodkach wychowawczych
BA 3	Osoba upośledzona	Osoba nie mająca wszystkich możliwości fizycznych i intelektualnych osób przeciętnych
BA 4	Osoba poinstruowana	Osoba odpowiednio poinformowana lub nadzorowana przez osobę wykwalifikowaną, w sposób zapewniający jej unikanie niebezpieczeństw i zapobieganiu ryzyka, jakie może stwarzać elektryczność
BA 5	Osoba wykwalifikowana	Osoba mająca stosowne wykształcenie i doświadczenie zapewniające jej unikanie niebezpieczeństw i zapobieganie ryzyku, jakie może stwarzać elektryczność

Styczność ludzi z potencjałem ziemi zwiększa prawdopodobieństwo porażenia elektrycznego. Porażenie takie powstaje bowiem gdy człowiek lub zwierze dotknie jednocześnie dwóch części o odpowiednio różniących się potencjałach. Zwykle jest to potencjał część przewodzącej równy lub mniejszy od napięcia roboczego instalacji i potencjał ziemi o wartości zero lub nieco większej.

Możliwości styczności ludzi z potencjałem ziemi są skodyfikowane w części 3 normy PN-IEC 60364 w sposób przedstawiony w tablicy 6.2.

Tablica 6.2. Styczność ludzi z potencjałem ziemi

Ozna- czenie	Styczność	Sytuacje charakteryzujące styczność
BC 1	Brak	Osoba na stanowisku nie przewodzącym
BC 2	Rzadka	Osoba nie mająca w normalnych warunkach styczności z częściami przewodzącymi obcymi lub nie stojąca na powierzchni przewodzącej
BC 3	Częsta	Osoba dotykająca często części przewodzących obcych lub stojąca na powierzchni przewodzącej
BC 4	Ciągła	Osoba będąca w stałej styczności z otoczeniem metalicznym, mające ograniczoną możliwość przerwania tej styczności

Czwarty czynnik brany pod uwagę przy doborze ochrony przeciwporażeniowej, tj. elektryczny opór ciała człowieka ma wpływ, przy określonym napięciu przyłożonym do jego ciała, na wartość prądu rażeniowego, a więc na skutki patofizjologiczne rażenia elektrycznego. Im mniejszy jest opór elektryczny ciała człowieka, tym większy prąd rażeniowy i groźniejsze skutki patofizjologiczne.

W normie PN-IEC 364-4-481 uznano następujące klasy **wpływów zewnętrznych za normalne dla pracy instalacji elektrycznych**:

- temperatura otoczenia – AA 4,
- wilgotność powietrza – AB 4,
- inne klasy wpływów zewnętrznych (AC-AR) – XX 1,
- eksploatacja i konstrukcje budynków – BC 2 i XX 1 dla pozostałych parametrów.

Stopień zagrożenia porażeniowego jest tym większy im wyższe jest napięcie znamionowe obwodu elektrycznego, w którym to zagrożenie jest rozpatrywane. Przy określonym oporze ciała podwyższenie napięcia powoduje wzrost prądu rażeniowego i możliwość wystąpienia groźniejszych skutków patofizjologicznych.

Najniższy stopień zagrożenia występuje w obwodach, w których napięcie znamionowe nie przekracza 50 V (jest zaliczane do bardzo niskiego), zasilających odbiorniki stacjonarne i nie występują czynniki oznaczone kodami BB 3, BB 4, BC 3, BC 4, a osoby obsługujące instalacje i odbiorniki elektryczne są poinstruowane (BA 4) lub wykwalifikowane (BA 5).

Najwyższy stopień zagrożenia porażeniowego występuje gdy napięcie znamionowe obwodu elektrycznego przekracza 50 V, odbiornik elektryczny może być trzymany w ręku przez dłuższy okres czasu, osoby obsługujące instalacje i odbiorniki elektryczne nie należą do osób poinstruowanych lub wykwalifikowanych (BA 4 lub BA 5) i występują czynniki zmniejszające elektryczny opór ciała człowieka (czynniki oznaczone kodem BB 4 lub BB 5).

W pomieszczeniach, w których panują warunki normalne, stosuje się postanowienia zawarte w częściach 4 i 5 normy PN-IEC 60364. Instalacje elektryczne, a więc i środki ochrony przed porażeniem elektrycznym, eksploatowane w warunkach, które nie można zaliczyć do normalnych powinny spełniać wymagania stawiane instalacjom eksploatowanym w warunkach normalnych uzupełnionych, zmodyfikowanych lub częściowo unieważnionych przez wymagania zawarte w części 7 normy PN-IEC 60364.

6.2. Struktura ochrony przeciwporażeniowej

Ochrona przeciwporażeniowa realizowana w oparciu o dokumenty międzynarodowych organizacji normalizacyjnych IEC i CENELEC oparta jest na strukturze trójstopniowej. Strukturę tę tworzą:

- **ochrona przed dotykiem bezpośrednim** (nowa nazwa - **ochrona podstawowa**),
- **ochrona przy dotyku pośrednim** (nowa nazwa - **ochrona przy uszkodzeniu**, używana jest też nazwa ochrona dodatkowa),
- **ochrona uzupełniająca**.

W obwodach o napięciu znamionowym przekraczającym 50 V a.c. lub 120 V d.c. ochrona przed dotykiem bezpośrednim i ochrona przed dotykiem pośrednim realizowane są przez dwa niezależne środki techniczne.

W obwodach o napięciu nie przekraczającym 50 V a.c. lub 120 V d.c. zwykle stosuje się jeden środek techniczny realizujący jednocześnie ochronę przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim (obwody SELV i PELV).

Zadaniem ochrony przed dotykiem bezpośrednim jest:

- uniemożliwienie przepływu prądu elektrycznego przez ciało człowieka w normalnych warunkach pracy instalacji tj. uniemożliwienie dotknięcia części czynnych urządzeń elektrycznych, lub
- ograniczenie wartości prądu rażeniowego do wartości nie stwarzającej zagrożenia.

Ochrona **przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim)** powinna skutecznie chronić człowieka, gdy na częściach przewodzących dostępnych i obcych pojawi się niebezpieczne napięcie dotykowe, tj. gdy zostanie uszkodzona izolacja podstawowa urządzenia.

Gdy zostanie uszkodzona izolacja części czynnych urządzenia i na częściach przewodzących dostępnych pojawi się niebezpieczne napięcie dotykowe, zadaniem ochrony przy uszkodzeniu jest spowodowanie:

- samoczynnego wyłączenia zasilania w takim czasie, że pojawiające się na częściach przewodzących dostępnych i obcych napięcie dotykowe nie wywoła porażenia elektrycznego, lub
- uniemożliwienie pojawienia się na częściach przewodzących dostępnych i obcych napięcia dotykowego, lub
- ograniczenie prądu rażeniowego do wartości przyjętej za dopuszczalną długotrwale.

Ochrona uzupełniająca może uzupełniać ochronę przed dotykiem bezpośrednim lub pośrednim:

- **ochrona uzupełniająca ochronę przed dotykiem bezpośrednim** nie jest obowiązkowa i zaleca się ją stosować tylko wtedy gdy dotknięcie części czynnych jest prawdopodobne, np. przy pracach remontowych lub w pobliżu nieosłoniętych części czynnych,
- **ochrona uzupełniająca ochronę przy dotyku pośrednim** jest wymagana dla całej instalacji elektrycznej a dla jej części tylko w określonych przypadkach.

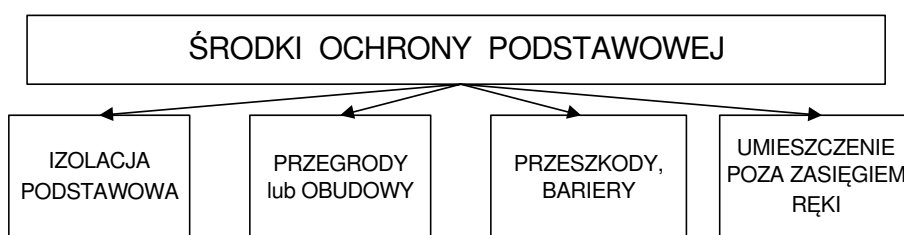
7. OCHRONA PODSTAWOWA (PRZED DOTYKIEM BEZPOŚREDNIM)

7.1. Informacje ogólne

Ochrona podstawowa ma na celu uniemożliwienie dotknięcia części czynnych i polega na zastosowaniu jednego z następujących środków (rys. 7.1):

- a) **ochrony polegającej na izolowaniu części czynnych,**
- b) **ochrony przy użyciu ogrodzeń lub obudów,**
- c) **ochrony przy użyciu barier,**
- d) **ochrony przez umieszczenie poza zasięgiem ręki.**

Środki a) i b) mogą być stosowane bez ograniczeń, środki c) i d) mogą być stosowane tylko w przestrzeniach dostępnych dla osób wykwalifikowanych lub przeszkolonych lub innych osób nadzorowanych przez osoby wykwalifikowane albo przeszkolone.



Rys. 7.1. Środki ochrony podstawowej (przed dotykiem bezpośrednim)

7.2. Ochrona polegająca na izolowaniu części czynnych

Środek ten realizowany jest przez całkowite pokrycie tych części izolacją, która może być usunięta tylko przez jej zniszczenie. Ochrona taka stosowana jest najczęściej w przewodach i kablach elektroenergetycznych. Izolacja pełniąca funkcję ochrony przed dotykiem bezpośrednim zwykle wykonana jest fabrycznie i musi wytrzymywać długotrwałe narażenia mechaniczne oraz wpływy elektryczne, termiczne, chemiczne, na jakie może być narażona podczas eksploatacji. Pokrycie farbą, pokostem i podobnymi produktami, zastosowanymi samodzielnie, nie są uznawane za odpowiednią izolację. Jeżeli izolacja została wykonana w czasie montażu instalacji, to jej jakość musi zostać potwierdzona próbami analogicznymi do tych, którym poddaje się izolację urządzeń produkowanych fabrycznie. Wymóg ten praktycznie wyklucza możliwość samodzielnego wykonywania tej izolacji (np. dla naprawy uszkodzonej izolacji przewodu oponowego).

7.3. Ochrona przy użyciu ogrodzeń lub obudów

Środek ten ma zapobiec możliwości dotknięcia części czynnych. Części te powinny być umieszczone wewnątrz obudów lub ogrodzeń zapewniających stopień ochrony co najmniej IP2X. Wymaga się ponadto, by łatwo dostępne górne, poziome powierzchnie ogrodzeń i obudów miały stopień ochrony co najmniej IP4X.

Dopuszcza się większe otwory, gdy są one konieczne dla zapewnienia właściwego funkcjonowania urządzenia zgodnie z odpowiednimi przepisami dotyczącymi tego urządzenia, lub gdy niższy stopień ochrony występuje podczas wymiany części (np. wymiany źródeł

światła w oprawach oświetleniowych lub wymiany bezpieczników topikowych). W takich przypadkach należy:

- przedsięwziąć odpowiednie środki ostrożności w celu zapobieżenia przypadkowemu dotknięciu części czynnych przez ludzi i zwierzęta domowe,
- zapewnić należyłą informację o możliwości dotknięcia części czynnych i ostrzeżenie przed ich świadomym dotknięciem.

Ogrodzenia i obudowy powinny być trwale zamocowane, mieć dostateczną stabilność i trwałość, zapewniającą utrzymanie wymaganego stopnia ochrony w normalnych warunkach eksploatacyjnych. Powinny być dostosowane do normalnie występujących narażeń środowiskowych, zgodnie z przeznaczeniem obudów i ogrodzeń.

Jeżeli konieczne jest usunięcie ogrodzeń lub otwarcie obudów lub usunięcie części obudów, to czynności te powinny być możliwe do wykonania tylko:

- za pomocą klucza lub narzędzia, lub
- po wyłączeniu zasilania części czynnych chronionych przez te ogrodzenia lub obudowy, przy czym ponowne włączenie zasilania powinno być możliwe dopiero po ponownym założeniu ogrodzeń lub zamknięciu obudów, lub
- gdy istnieje osłona wewnętrzna o stopniu ochrony nie mniejszym niż IP2X uniemożliwiająca dotknięcie części czynnych; usunięcie jej powinno być możliwe tylko za pomocą narzędzia lub klucza.

7.4. Ochrona przy użyciu barier

Środek ten ma na celu zabezpieczenie przed przypadkowym dotknięciem części czynnych, lecz nie chroni przed dotykiem spowodowanym działaniem rozmyślnym. Bariery powinny utrudniać:

- niezamierzone zbliżenie ciała do części czynnych, lub
- niezamierzone dotknięcie części czynnych w trakcie obsługi urządzeń.

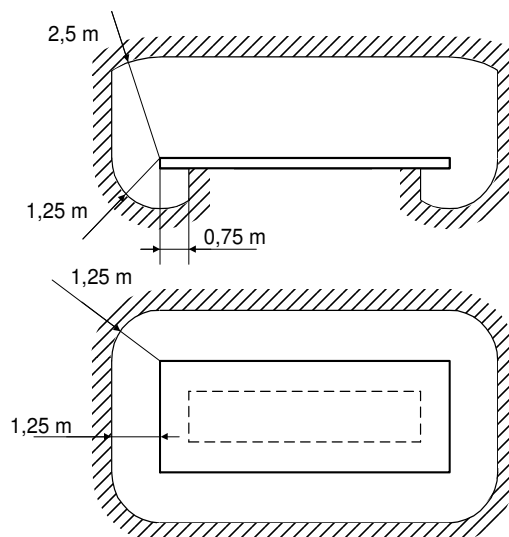
W odróżnieniu od obudów i ogrodzeń, bariery mogą być usuwane bez użycia klucza lub narzędzi, lecz powinny być zabezpieczone przed niezamierzonym usunięciem.

7.5. Ochrona przez umieszczenie poza zasięgiem ręki

Zasięg ręki to przestrzeń (obszar) zawarty między dowolnymi punktami powierzchni stanowiska, na którym stoi lub porusza się człowiek a powierzchnią, którą może dosięgnąć ręką w dowolnym kierunku bez użycia środków pomocniczych.

Środek ten ma na celu tylko zapobieżenie niezamierzonemu dotknięciu części czynnych. Uważa się, że części czynne są niedostępne do dotyku, jeżeli umieszczone są poza przestrzenią, której wymiary przedstawione są na rysunku 7.2. Zasięg ręki przedstawiony na rysunku odnosi się do bezpośredniego dotknięcia części czynnych gołą ręką, bez użycia innych przedmiotów (np. narzędzi lub drabin). W miejscach, w których normalnie wykonuje się czynności z użyciem przedmiotów przewodzących wydłużających zasięg ręki, odległości powinny być powiększone o odpowiednie wymiary tych przedmiotów. Przy rozpatrywaniu rażenia na drodze ręka-ręka, zasięg dwóch rąk wynosi 2,5 m.

Jeżeli przestrzeń, w której mogą przebywać ludzie, jest ograniczona w kierunku poziomym przez barierę (np. poręcz, siatkę) zapewniającą ochronę w stopniu mniejszym niż IP2X, to zasięg ręki powinien być mierzony od tej bariery.



Rys. 7.2. Strefa zasięgu ręki

7.6. Ochrona uzupełniająca ochronę podstawową

Oprócz wymienionych powyżej środków ochrony podstawowej norma wymienia jeszcze **ochronę uzupełniającą za pomocą urządzeń różnicowoprądowych.**

Polega ona na stosowaniu wysokoczułych urządzeń różnicowoprądowych (o znamionowym różnicowym prądzie zadziałania nie przekraczającym 30 mA). Ma ona na celu tylko zwiększenie skuteczności ochrony przed dotykiem bezpośrednim w przypadku nieskutecznego działania środków ochrony lub w przypadku nieostrożności użytkowników. Urządzenia te nie mogą być jedynym środkiem ochrony i użycie ich nie zwalnia od obowiązku zastosowania jednego ze środków ochrony przed dotykiem bezpośrednim.

8. OCHRONA PRZY USZKODZENIU (PRZED DOTYKIEM POŚREDNIM)

8.1. Informacje ogólne

Ochrona **przy uszkodzeniu (przed dotykiem pośrednim)** powinna skutecznie chronić człowieka, gdy na częściach przewodzących dostępnych i obcych pojawi się niebezpieczne napięcie dotykowe, tj. gdy zostanie uszkodzona izolacja podstawowa urządzenia. Środki ochrony przy uszkodzeniu przedstawiono na rysunku 8.1.



Rys. 8.1. Środki ochrony przy uszkodzeniu (przed dotykiem pośrednim)

Tylko w ochronie przez samoczynne wyłączenie zasilania stosowane są uziemione przewody ochronne PE (PEN). Przy stosowaniu pozostałych środków ochrony przed dotykiem pośrednim, przewodów PE nie wolno stosować. Może być jedynie wymagane zastosowanie przewodów wyrównawczych CC (uziemionych lub nieuziemionych).

8.2. Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania w instalacjach z zabezpieczeniami przetężeniowymi

Ochrona przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania może być stosowana we wszystkich układach sieciowych, zwłaszcza TN i TT. Zadaniem tej ochrony jest zapobieganie utrzymywaniu się na częściach przewodzących dostępnych urządzeń elektrycznych, niebezpiecznie wysokich napięć dotykowych większych od napięcia U_L dopuszczalnego długotrwale w danych warunkach środowiskowych.

8.2.1. W sieci TN

Warunkiem skuteczności ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci TN jest, aby:

- przy metalicznym zwarcie między przewodem fazowym a częścią przewodzącą dostępną lub przewodem ochronnym popłynął prąd zwarciový co najmniej równy prądowi powodującemu samoczynne wyłączenie zasilania (urządzenia zabezpieczającego) w wymaganym czasie tak, aby nie wystąpiły niebezpieczne skutki patofizjologiczne dla człowieka dotykającego w chwili zwarcia części przewodzących jednocześnie dostępnych; prąd ten nazywany jest prądem wyłączającym i jest oznaczony jako I_a ,
- w najniższej kondygnacji obiektu budowlanego wyposażonego w instalację elektryczną wykonane były główne połączenia wyrównawcze łączące ze sobą: główny przewód ochronny instalacji elektrycznej, główną szynę uziemiającą (lub główny zacisk uziemiający), rury zasilające instalacje wewnętrzne obiektu (wodociągową, c.o., gazową, kanalizacyjną), metalowe zbrojenia lub elementy konstrukcyjne budynku oraz lokalny uziom dodatkowy przewodu ochronnego PE (lub ochronno-neutralnego PEN); rury przewodzące instalacji doprowadzonych z zewnątrz budynku powinny być objęte połączeniem wyrównawczym możliwie jak najbliżej miejsca ich wprowadzenia,

- w sieci zasilającej wykonane były uziemienia dodatkowe, zapewniające poprawę bezpieczeństwa użytkowania instalacji elektrycznej w razie wystąpienia zakłóceń w pracy sieci, a w szczególności w przypadku utraty ciągłości przewodów ochronnych PE (lub ochronno-neutralnego PEN); uziemienia przewodów ochronnych należy wykonywać wszędzie tam, gdzie jest to tylko możliwe, ponieważ zapewnia to obniżenie potencjału przewodów ochronnych w momencie zwarcia w stosunku do potencjału ziemi.

Sprawdzenie warunku, czy prąd zwarcia jednofazowego I''_{k1} osiąga wartość co najmniej równą prądowi wyłączającemu I_a , sprowadza się w praktyce do pomiaru impedancji Z_S (wypadkowego oporu) pętli metalicznego zwarcia jednofazowego. Pomiary te wykonuje się na czynnych, znajdujących się pod napięciem urządzeniach elektrycznych. Ponieważ w chwili wykonywania pomiaru na częściach przewodzących dostępnych urządzeń elektrycznych przyłączonych do badanej sieci (a nie tylko badanego urządzenia) może wystąpić niebezpieczne napięcie dotykowe, pomiary te należy wykonywać z zachowaniem należytej ostrożności, najlepiej przy użyciu specjalistycznych przyrządów pomiarowych.

Działanie urządzeń zabezpieczających nadprądowych uważa się za poprawne, gdy spełniony jest warunek:

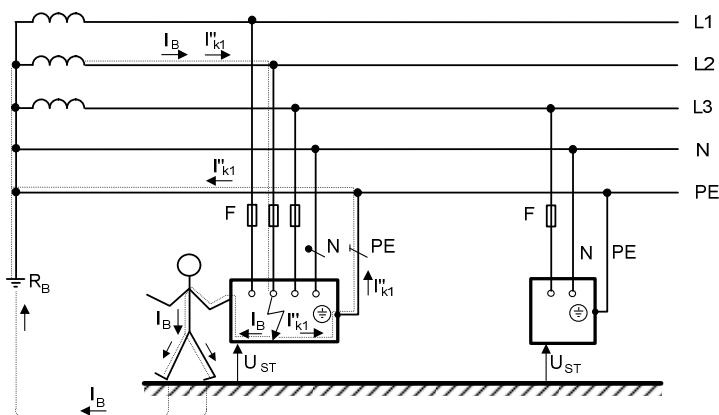
$$I''_{k1} \geq I_a, \quad \text{czyli:} \quad I_a \cdot Z_S \leq U_0,$$

w którym:

I_a - prąd wyłączający, powodujący samoczynne, w wymaganym czasie, działanie urządzenia zabezpieczającego nadprądowego,

U_0 - napięcie znamionowe względem ziemi badanego urządzenia.

Budowa i zasada działania ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci o układzie TN jest przedstawiona na rysunku 8.2.



Rys. 8.2. Zasada działania ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci o układzie TN

Wymagany maksymalny czas samoczynnego wyłączenia zasilania - a tym samym odpowiadająca mu i ustalona na podstawie charakterystyki prądowo-czasowej zabezpieczenia, wartość prądu wyłączającego I_a , zależy od rodzaju urządzenia. Dla obwodów odbiorczych, zasilających urządzenia I klasy ochronności ręczne lub przenośne, przeznaczone do ręcznego przemieszczania w czasie ich użytkowania, wymagany maksymalny czas wyłączenia (podany w tablicy 8.1) jest bardzo krótki i zależy od napięcia znamionowego sieci względem ziemi U_0 oraz od warunków środowiskowych w miejscu zainstalowania urządzenia. Maksymalny czas wyłączenia dłuższy od podanego w tablicy 8.1, lecz nie przekraczający 5 s dopuszcza się jedynie w obwodach rozdzielczych i zasilających wyłącznie urządzenia stacjonarne.

Tablica 8.1. Maksymalne czasy wyłączenia zasilania w sieci o układzie TN

Napięcie znamionowe sieci U_0 , (V)	Czas wyłączenia zasilania, (s)	
	dla $U_L=50V$	dla $U_L=25V$
120	0.8	0.35
230, 277	0.4	0.20
400	0.2	0.05
480	0.1	0.05
580	0.1	0.02*

* Gdy nie można spełnić tego wymagania należy zastosować połączenia wyrównawcze dodatkowe (miejscowe).

W przypadku zasilania z jednej rozdzielniczy lub obwodu rozdzielczego zarówno urządzeń ręcznych i stacjonarnych, wymagany czas wyłączenia we wszystkich obwodach musi być nie dłuższy niż w obwodzie z urządzeniem ręcznym.

Przy trudności w realizacji powyższego wymagania należy spełnić jeden z następujących warunków:

1. Spadek napięcia na przewodzie ochronnym PE między rozdzielnicą zasilającą odbiorniki a miejscem przyłączenia przewodu ochronnego PE do głównej szyny uziemiającej nie może przekraczać 50V przy dowolnym zwarcia jednofazowym do przewodu PE, a zatem:

$$Z_{PE} \cdot I'_{kl} \leq 50 \text{ V}$$

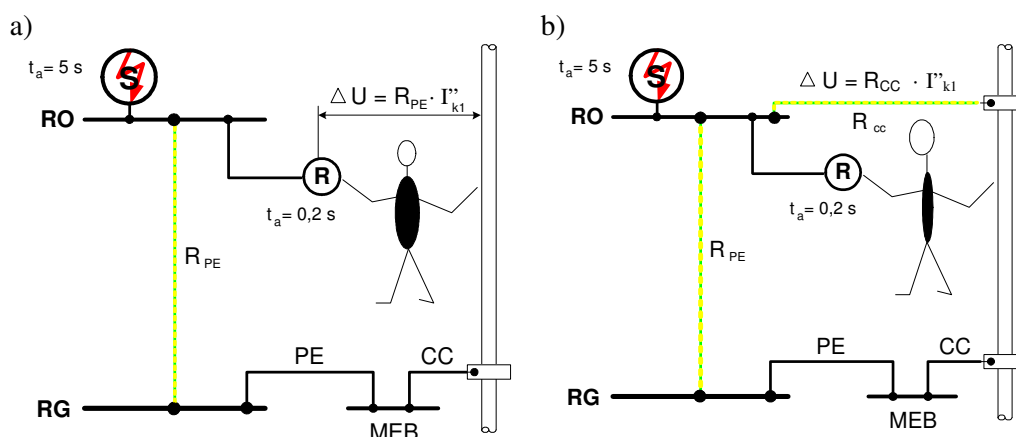
czyli:

$$Z_{PE} \cdot U_0 / Z_S \leq 50 \text{ V}$$

Po przekształceniu otrzymuje się wzór określający dopuszczalną impedancję tego odcinka przewodu PE:

$$Z_{PE} \leq \frac{50}{U_0} \cdot Z_S,$$

2. W rozdzielniczy są wykonane połączenia wyrównawcze dodatkowe (miejscowe) przyłączone do tych samych części przewodzących obcych co połączenia wyrównawcze główne (rys. 8.3).



Rys. 8.3. Napięcie dotykowe spodziewane: a) bez miejscowego połączenia wyrównawczego
b) po wykonaniu miejscowego połączenia wyrównawczego

W szczególnych przypadkach, gdy może nastąpić zwarcie przewodu fazowego z ziemią np. w liniach napowietrznych (rys. 8.4), napięcie między przewodem ochronnym i

przyłączonymi do niego częściami przewodzącymi dostępnymi a ziemią nie powinno przekraczać wartości 50 V. Zatem:

$$U_{PEN} = R_B \cdot I''_{k1} \leq 50 \text{ V}$$

Ponieważ:

$$I''_{k1} = \frac{U_0}{R_B + R_E},$$

zatem:

$$U_{PEN} = R_B \cdot \frac{U_0}{R_B + R_E} \leq 50,$$

a po przekształceniu:

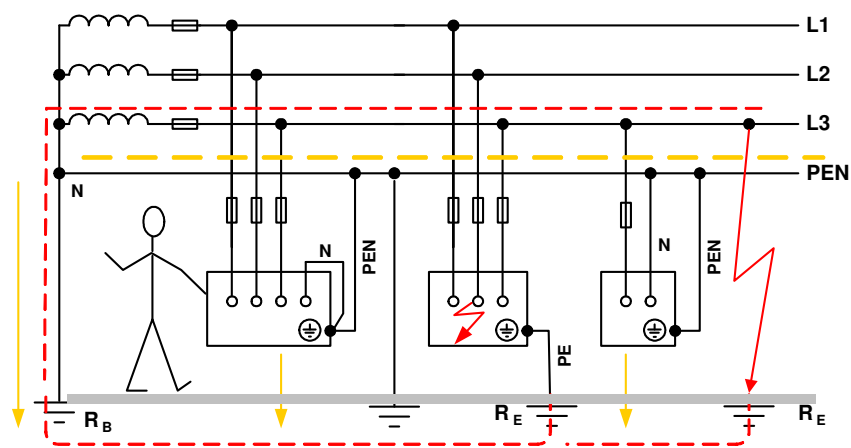
$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{U_0 - 50},$$

gdzie:

R_B - jest wypadkową rezystancją wszystkich połączonych równolegle uziomów,

R_E - jest minimalną rezystancją styku z ziemią części przewodzących obcych nie połączonych z przewodem ochronnym, przez które może nastąpić zwarcie przewodu fazowego z ziemią,

U_0 - jest wartością skuteczną napięcia znamionowego prądu przemiennego względem ziemi.



Rys. 8.4. Zwarcie doziemne z pominięciem przewodu PEN

8.2.2. W sieci TT

W sieci TT ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania jest stosowana znacznie rzadziej niż w sieci TN, ze względu na znaczne trudności z zapewnieniem jej prawidłowego działania przy wyposażeniu sieci w zabezpieczenia nadprądowe, zwłaszcza o dużych prądach znamionowych. Warunkiem skuteczności ochrony jest:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_a},$$

gdzie:

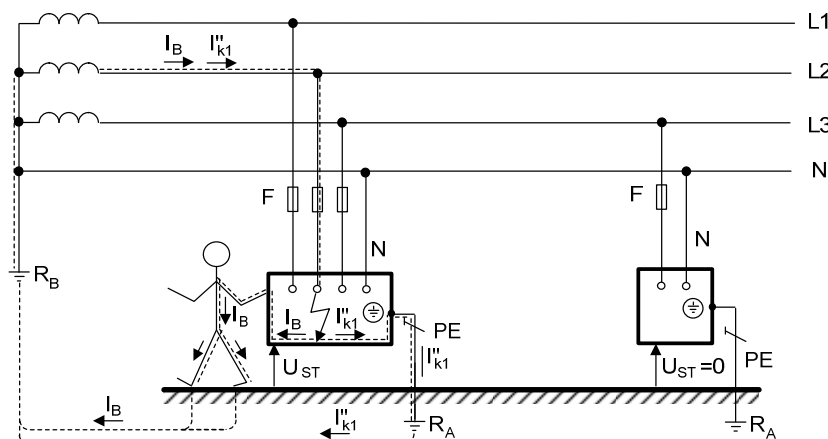
R_A – dopuszczalna rezystancja uziemienia części przewodzących dostępnych badanego urządzenia,

I_a – prąd powodujący samoczynne, w wymaganym czasie, działanie urządzenia zabezpieczającego nadprądowego (prąd wyłączający),

U_L – dopuszczalna wartość napięcia dotykowego (50 V lub 25 V).

Ze względu na trudność zapewnienia działania urządzeń nadprądowych w czasie krótszym od 5 s, ochronę przed dotykiem pośrednim w sieci TT z zabezpieczeniami

nadprądowymi można stosować tylko do urządzeń stacjonarnych. Zasadę działania ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci o układzie TT przedstawiono na rysunku 8.5.



Rys. 8.5. Zasada działania ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci o układzie TT

8.2.3. W sieci IT

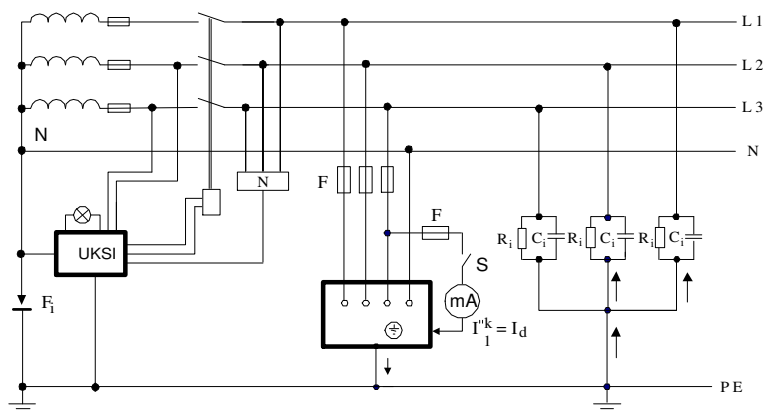
W sieci o układzie IT części czynne powinny być odizolowane od ziemi lub połączone z ziemią za pośrednictwem impedancji o odpowiednio dużej wartości. Takie połączenie może być wykonane albo w punkcie neutralnym układu, albo w sztucznym punkcie neutralnym. Ten ostatni może być połączony bezpośrednio z ziemią, jeżeli wypadkowa impedancja dla składowej zerowej jest dostatecznie duża. Jeżeli nie ma żadnego punktu neutralnego, do ziemi przez impedancję może być przyłączony jeden z przewodów fazowych. Części przewodzące dostępne powinny być uziemione indywidualnie, grupowo lub zbiorowo.

Uwaga: W dużych obiektach, takich jak bardzo wysokie budynki, bezpośrednie połączenie przewodów ochronnych do uziomu może być w praktyce niemożliwe. Uziemienie części przewodzących dostępnych może być wykonane jako połączenia między przewodami ochronnymi, częściami przewodzącymi dostępnymi i częściami przewodzącymi obcymi.

Gdy układ IT jest stosowany w celu kontynuowania zasilania po wystąpieniu pojedynczego zwarcia doziemnego, to powinny być zastosowane urządzenia kontrolujące stan izolacji (UKSI), dla wykrycia pierwszego doziemienia pomiędzy częścią czynną a dostępną częścią przewodzącą lub ziemią. To urządzenie powinno uruchomić sygnał dźwiękowy lub optyczny. Jeżeli są zastosowane obydwa sygnały, dźwiękowy i optyczny, to dopuszcza się, aby sygnał dźwiękowy był wyłączany, ale sygnał optyczny powinien trwać tak długo, jak długo będzie trwało doziemienie.

Uwaga: Zaleca się, aby pierwsze doziemienie było usuwane z możliwie najkrótszym opóźnieniem.

Sieci typu IT z izolowanym lub uziemionym przez dużą impedancję punktem neutralnym, są w Polsce dość powszechnie stosowane w zakładach górniczych górnictwa głębinowego oraz górnictwa odkrywkowego. Występują również w zakładach przemysłowych, głównie w przemyśle chemicznym i cementowym oraz na statkach. Cechą charakterystyczną tych sieci jest mała wartość prądu pojedynczego zwarcia z ziemią ($I'_{k1} = I_d$), zależna od rezystancji R_i i pojemności C_i izolacji przewodów sieci względem ziemi (rys. 8.6). Natężenie tego prądu zależy zatem, od długości (rozległości) sieci i w większości przemysłowych sieci napowietrznych lub kablowych niskiego napięcia wynosi kilkadziesiąt miliamperów i nie przekracza 1 A. Pojedyncze zwarcie doziemne praktycznie nie wpływa na pracę odbiorników.

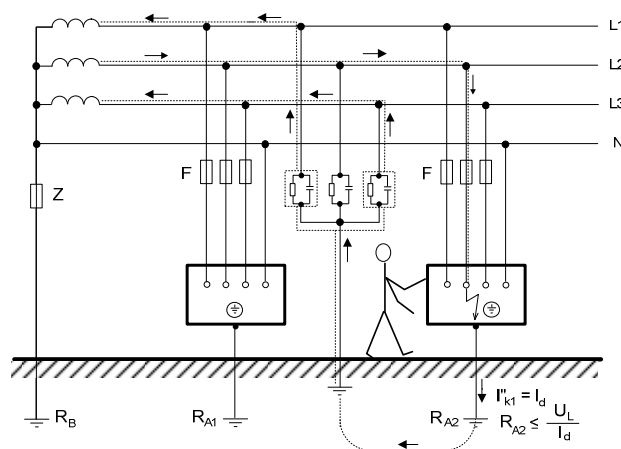


Rys. 8.6. Sieć IT z urządzeniem UKSI i pomiarem prądu doziemnego I_d

Ze względu na małą wartość prądu zwarcia doziemnego, zagrożenie porażeniowe w wyniku dotyku pośredniego przy pojedynczym zwarcu doziemnym jest w takiej sieci niewielkie, jeżeli tylko części przewodzące dostępne urządzeń są w sposób prawidłowy objęte ochroną przed dotykiem pośrednim. Znacznie większe zagrożenie może wystąpić w wyniku dotyku bezpośredniego lub dotyku pośredniego do części nieprawidłowo chronionej. Równie duże zagrożenie może towarzyszyć dotykowi pośredniemu prawidłowo chronionych części przewodzących dostępnych przy podwójnym zwarcu przez ziemię. W celu zmniejszenia zagrożenia, w sieciach tych, bardzo często nie dopuszcza się do występowania zwarc podwójnych przez stosowanie urządzeń UKSI powodujących samoczynne wyłączenie sieci już przy pojedynczym zwarcu doziemnym, lub przy dopuszczeniu występowania podwójnych zwarc doziemnych - przez stosowanie uziemienia ochronnego zbiorowego. Oznacza to, że części przewodzące dostępne wszystkich urządzeń elektroenergetycznych zasilanych z tej sieci są przyłączone do tego samego, wspólnie uziemionego przewodu ochronnego PE (w górnictwie jest to SUPO - system uziemających przewodów ochronnych). W sieci takiej wymagane jest też wykonanie połączeń wyrównawczych miejscowych między częściami przewodzącymi dostępnymi i częściami przewodzącymi obcymi. Urządzenia UKSI mogą być wyposażone w dławik do kompensacji pojemnościowych prądów doziemnych co wydatnie zmniejsza zagrożenia elektryczne np. przy dotyku bezpośrednim lub pożarowe.

Od skutków przerzutu wysokiego napięcia sieć odbiorczą o układzie IT zabezpiecza się wykonując uziemienie robocze otwarte przez bezpiecznik iskernikowy F_i .

Zasadę działania ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci o układzie IT przedstawiono na rysunku 8.7.



Rys. 8.7. Zasada działania ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci o układzie IT przy pojedynczym zwarcu doziemnym

Samoczynne wyłączenie zasilania przy pojedynczym zwarcu doziemnym

Ochronę przez samoczynne wyłączenie zasilania przy pojedynczym zwarcu doziemnym w sieciach IT stosuje się wtedy, gdy warunki pracy sieci stwarzają znaczne zagrożenie porażeniowe obsługi (wysoka temperatura, duża wilgotność, praca na otwartym powietrzu) lub zagrożenie pożarowe albo wybuchowe (kopalnie metanowe, zakłady chemiczne itp.).

W sieciach o układzie IT części przewodzące dostępne wszystkich urządzeń powinny być uziemione indywidualnie, grupowo lub zbiorowo. Rezystancja uziemienia musi mieć taką wartość, aby zawsze były spełnione warunki:

$$R_A \cdot I_d \leq U_L,$$

przy uziemieniu indywidualnym lub grupowym, jeżeli nie jest wymagane wyłączanie zasilania przy pojedynczym zwarcu doziemnym, lub:

$$R_A \cdot I_a \leq U_L,$$

przy uziemieniu zbiorowym i przy uziemieniu indywidualnym i grupowym, jeżeli jest wymagane wyłączanie przy pojedynczym zwarcu doziemnym,

w których:

- R_A - dopuszczalna rezystancja uziemienia części przewodzących dostępnych,
- I_a - prąd zapewniający samoczynne zadziałanie urządzenia wyłączającego,
- I_d - prąd pojedynczego zwarcia, przy pomijalnej impedancji w miejscu zwarcia między przewodem fazowym i częścią przewodzącą dostępną ($I_d = I_{k1}$),
- U_L - dopuszczalne długotrwale napięcie dotykowe.

Wartość prądu I_d musi uwzględniać prądy upływowe i całkowitą (wypadkową) impedancję uziemienia sieci. Można ją wyznaczyć na drodze obliczeniowej lub przez pomiar.

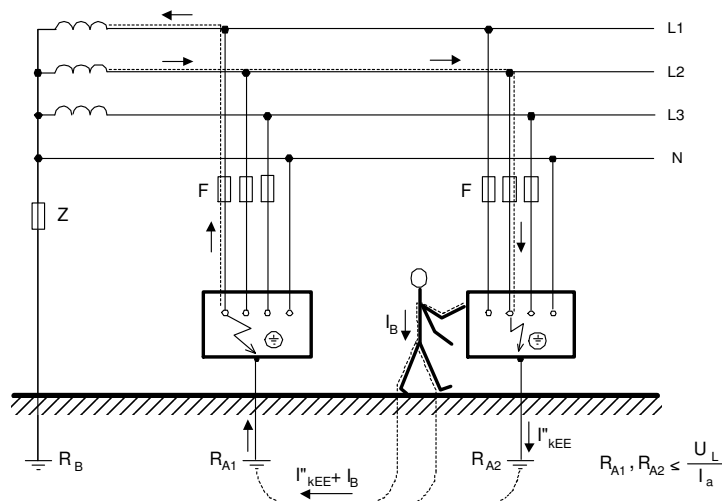
Powszechnie, od lat stosowanym w Polsce urządzeniem w sieciach IT jest urządzenie typu UKSI do ciągłej kontroli stanu izolacji sieci względem ziemi (rys. 8.6). Urządzenie to może działać na sygnalizację (optyczną lub akustyczną) lub na wyłączenie zasilania. Jest zwykle instalowane przy transformatorze zasilającym i może działać na wyłączenie całej sieci przy wystąpieniu w niej pojedynczego zwarcia doziemnego. Zgodnie z normą dotyczącą budowy takich urządzeń, czas wyłączenia zasilania sieci przez urządzenie UKSI nie może przekraczać 0,1 s. Wyłączenie musi nastąpić, gdy wypadkowa rezystancja przewodów sieci względem ziemi obniży się do wartości ustalonej jako graniczna dla danej branży. Wynosi ona na przykład: w zakładach górniczych górnictwa miedziowego 7-50 k Ω a w górnictwie odkrywkowym węgla brunatnego 30-50 k Ω w zależności od napięcia znamionowego sieci. Istotną wadą urządzeń UKSI jest wyłączenie całej kontrolowanej sieci spod napięcia w warunkach pojedynczego zwarcia z ziemią. W celu przeciwdziałania temu, w sieci stosuje się dodatkowe wyposażenie umożliwiające lokalizację uszkodzonego obwodu i po wyłączeniu sieci spod napięcia ponowne załączenie obwodów nie dotkniętych uszkodzeniem.

W sieci IT do samoczynnego wyłączenia zasilania przy pojedynczych zwarcach doziemnych mogą być stosowane również wyłączniki różnicowoprądowe. Mogą one służyć do wyłączania całej sieci, podobnie jak urządzenie UKSI, lub do selektywnego wyłączania tylko pojedynczych, chronionych przez te wyłączniki odbiorników.

Samoczynne wyłączenie zasilania przy podwójnych zwarcach doziemnych

W sieciach IT, w których dopuszcza się pracę przy występowaniu pojedynczego zwarcia doziemnego powinny być stosowane urządzenia UKSI do sygnalizacji występowania takiego zwarcia, działające na sygnalizację optyczną lub akustyczną. Zgodnie z normą zaleca się, aby pierwsze zwarcie było usunięte w możliwie najkrótszym czasie. Stan doziemienia jednej fazy sieci nie powinien utrzymywać się długotrwale, gdyż występuje wówczas znaczna asymetria

napięć sieci względem ziemi. Napięcia względem ziemi nieuszkodzonych faz sieci osiągają wtedy wartości napięć międzyprzewodowych, co może prowadzić do dalszych uszkodzeń izolacji sieci i urządzeń odbiorczych. Wzrasta wówczas prawdopodobieństwo wystąpienia drugiego uszkodzenia (innej fazy) w dowolnym miejscu sieci. W tym przypadku w sieci IT może wystąpić znaczne zagrożenie porażeniowe powodowane możliwością przepływu dużego, znacznie większego niż przy pojedynczym zwarciu doziemnym, prądu uszkodzeniowego podwójnego zwarcia doziemnego. Ochronę przeciwporażeniową przy dotyku pośrednim zapewni wówczas ograniczenie czasu występowania zwarcia.



Rys. 8.8. Zasada działania ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci o układzie IT przy podwójnym zwarciu doziemnym

Warunki wyłączenia zasilania przy podwójnym zwarciu doziemnym zależą od rodzaju uziemienia (indywidualne, grupowe lub zbiorowe). Budowa i zasada działania ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci o układzie IT przy podwójnym zwarciu doziemnym przedstawiona jest na rysunku 8.8.

Jeżeli części przewodzące dostępne uziemione są indywidualnie lub grupowo, to powinien być spełniony warunek (jak w sieci TT):

$$R_A \cdot I_a \leq U_L,$$

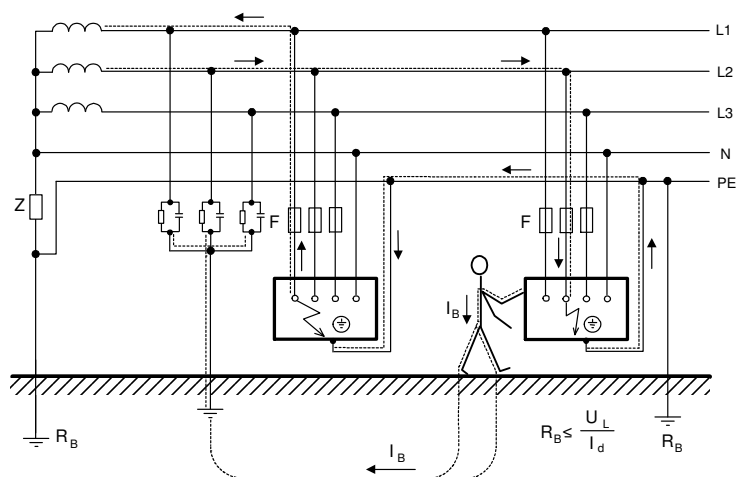
w którym: R_A - dopuszczalna rezystancja uziemienia ochronnego części przewodzących dostępnych odbiornika lub grupy odbiorników,

I_a - prąd zapewniający samoczynne zadziałanie urządzenia wyłączającego.

Wymagany czas samoczynnego wyłączenia zasilania zależy od rodzaju stosowanego urządzenia zabezpieczającego. Jeżeli jest ono urządzeniem nadprądowym, to powinno mieć ciągłą charakterystykę czasowo-prądową, a czas wyłączenia nie może przekraczać 5 s. Jeżeli jest to urządzenie z działaniem natychmiastowym (tylko wyzwalacz elektromagnetyczny) to wartość prądu I_a musi być prądem minimalnym zapewniającym takie wyłączenie.

Znacznie lepszym i skuteczniejszym rozwiązaniem trudności w spełnieniu tego warunku przez zabezpieczenia nadprądowe jest w praktyce stosowanie w takich sieciach wyłączników różnicowoprądowych dla ochrony przed podwójnymi zwarciami doziemnymi.

Innym alternatywnym (i znacznie tańszym) rozwiązaniem jest stosowanie sieci IT z uziemieniem zbiorowym (sieć ochronna, SUPO). W sieci takiej warunki ochrony przed dotykiem pośrednim są takie same jak w układzie TN, gdyż prąd zwarciovowy nie przepływa przez uziom, lecz zamyka się przez przewód PE. Sieć taką przedstawiono na rysunku 8.9.



Rys. 8.9. Budowa i zasada działania ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci o układzie IT z uziemieniem zbiorowym przy podwójnym zwarciu doziemnym

W zależności od wyposażenia sieci w przewód neutralny muszą być wtedy spełnione następujące warunki:

- a) w sieci z przewodem neutralnym: $Z'_s \leq \frac{U_0}{2I_a}$,
- b) w sieci bez przewodu neutralnego: $Z_s \leq \frac{\sqrt{3} \cdot U_0}{2I_a}$,

w których:

Z'_s - impedancja pętli zwarcia od źródła zasilania do rozpatrywanego odbiornika obejmująca przewód neutralny i przewód ochronny obwodu,

Z_s - impedancja pętli zwarcia od źródła zasilania do rozpatrywanego odbiornika obejmująca przewód fazowy i przewód ochronny obwodu,

I_a - prąd wyłączający zapewniający zadziałanie urządzenia wyłączającego w wymaganym czasie.

Wymagane maksymalne czasy wyłączenia zasilania zależą od rodzaju chronionych odbiorników, od napięcia znamionowego sieci względem ziemi i od warunków środowiskowych. Dla urządzeń rozdzielczych oraz urządzeń stacjonarnych i ruchomych nie przemieszczanych ręcznie podczas użytkowania dopuszcza się czas wyłączenia podwójnych zwarc doziemnych nie dłuższy niż 5 s, niezależnie od warunków środowiskowych i napięcia względem ziemi. Dla urządzeń ręcznych oraz przenośnych przeznaczonych do ręcznego przemieszczania w czasie ich użytkowania wymagane przez normę czasy wyłączenia przedstawiono w tabelicy 8.2..

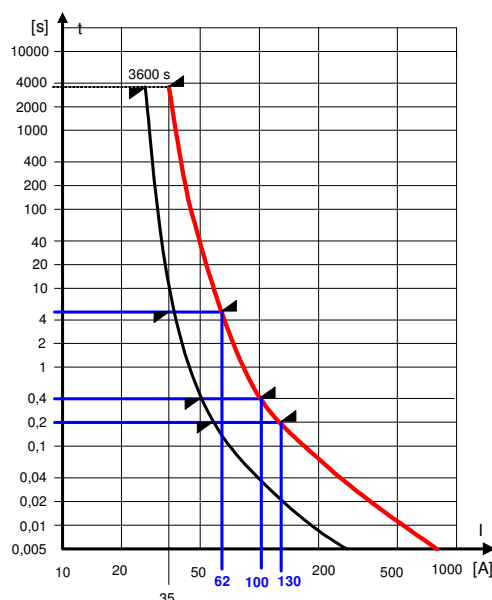
Tablica 8.2. Maksymalne czasy wyłączenia zasilania w sieci o układzie IT przy podwójnym zwarciu doziemnym

Napięcie znamionowe sieci U_0/U (V)	Czas wyłączenia (s):			
	w sieci bez przewodu neutralnego		w sieci z przewodem neutralnym	
	$U_L = 50$ V	$U_L = 25$ V	$U_L = 50$ V	$U_L = 25$ V
120/240	0,8	0,4	5,0	1,0
230/400 277/480	0,4	0,2	0,8	0,5
400/690	0,2	0,06	0,4	0,2
580/1000	0,1	0,02*	0,3	0,08
* Gdy nie można spełnić tego wymagania należy stosować połączenia wyrównawcze dodatkowe (miejscowe).				

8.3. Urządzenia samoczynnie wyłączające zasilanie

W instalacjach elektrycznych dla celów ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania wykorzystuje się stosowane w nich urządzenia nadprądowe mające zapewnić ochronę przewodów i odbiornika przed skutkami zwarć i przeciążeń. Urządzenia nadprądowe można podzielić na trzy zasadnicze rodzaje:

- a) urządzenia jednocześnie chroniące przed prądem przeciążeniowym i zwarciovym:
 - bezpieczniki topikowe: instalacyjne z pełnozakresową charakterystyką np. typu Bi-Wts, Bi-Wtz, gG lub bezpieczniki przemysłowe (mocy) bezzwłoczne i zwłoczne,
 - wyłączniki samoczynne z wyzwalaczem termicznym i elektromagnetycznym,
- b) urządzenia chroniące wyłącznie przed prądem zwarciovym:
 - bezpieczniki topikowe z niepełnozakresową charakterystyką (typu aM),
 - wyłączniki samoczynne z wyzwalaczem elektromagnetycznym,
- c) urządzenia chroniące wyłącznie przed prądem przeciążeniowym:
 - wyłączniki lub styczniki wyposażone tylko w wyzwalacz termiczny.



Rys. 8.10. Charakterystyka czasowo-prądowa wkładki topikowej bezpiecznika typu Bi-Wts o prądzie znamionowym 20 A i sposób wyznaczania prądu wyłączającego I_a

Dla celów ochrony przeciwporażeniowej powinny być stosowane tylko urządzenia jednocześnie chroniące przed prądem przeciążeniowym i zwarciovym. Stosowane obecnie w instalacjach bezpieczniki topikowe mają różnorodne charakterystyki czasowo-prądowe. Na rysunku 8.10 przedstawiono charakterystykę czasowo-prądową bezpiecznika typu Bi-Wts o prądzie znamionowym 20 A. Kolorem czerwonym zaznaczono krzywą prądów wyłączających, a czerwonymi strzałkami sposób wyznaczania wartości prądu I_a dla określonego, wymaganego czasu wyłączenia.

W latach 90-tych wprowadzono do produkcji i coraz szerszego stosowania w praktyce nowe konstrukcje wyłączników instalacyjnych nadprądowych wyposażonych w wyzwalacze elektromagnesowe i termiczne o charakterystykach: A, B, C i D. Na rysunku 8.11 przedstawiono charakterystyki czasowo-prądowe wyłączników instalacyjnych.

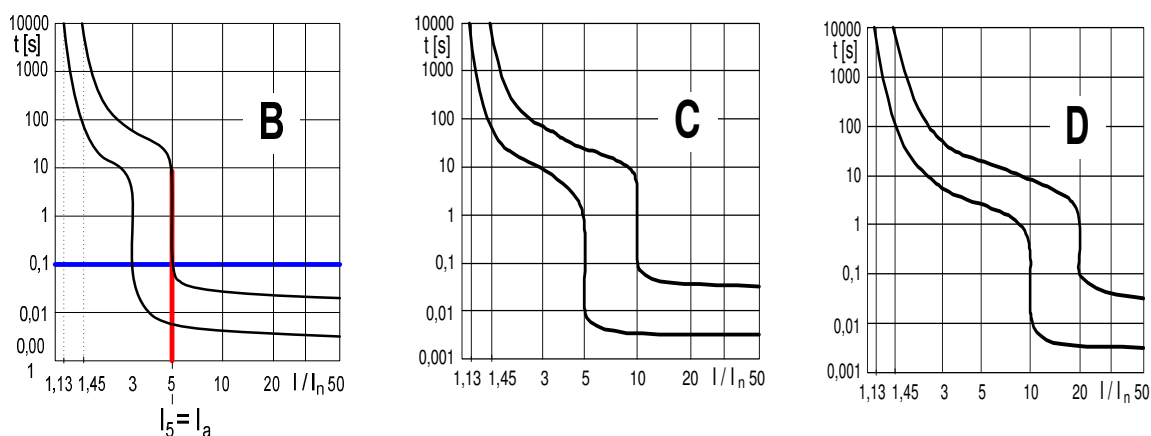
Zadziałanie wyłącznika (samoczynne wyłączenie zasilania) serii S 300 musi nastąpić (tablica 8.3):

- dla wyłącznika z charakterystyką typu A - przy prądzie równym $3 \times I_n$,
- dla wyłącznika z charakterystyką typu B - przy prądzie równym $5 \times I_n$,

- dla wyłącznika z charakterystyką typu C - przy prądzie równym $10 \times I_n$,
- dla wyłącznika z charakterystyką typu D - przy prądzie równym $20 \times I_n$.

Tablica 8.3. 8.11. Charakterystyki czasowo-prądowe wyłączników instalacyjnych serii S-300

Typ	Wyzwalacz termobimetalowy			Wyzwalacz elektromagnetyczny		
	Prąd I_1	Prąd I_2	Czas	Prąd I_4	Prąd $I_5 = I_a$	Czas
B	$1,13 I_n$	$1,45 I_n$	$\geq 1h$ $< 1h$	$3 I_n$	$5 I_n$	$\geq 0,1 s$ $< 0,1 s$
C	$1,13 I_n$	$1,45 I_n$	$\geq 1h$ $< 1h$	$5 I_n$	$10 I_n$	$\geq 0,1 s$ $< 0,1 s$
D	$1,13 I_n$	$1,45 I_n$	$\geq 1h$ $< 1h$	$10 I_n$	$20 I_n$	$\geq 0,1 s$ $< 0,1 s$



Rys. 8.11. Charakterystyki czasowo-prądowe wyłączników instalacyjnych serii S-300

8.4. Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieciach TN, TT oraz IT z zabezpieczeniami różnicowoprądowymi

8.4.1. Budowa i zasada działania wyłączników różnicowoprądowych

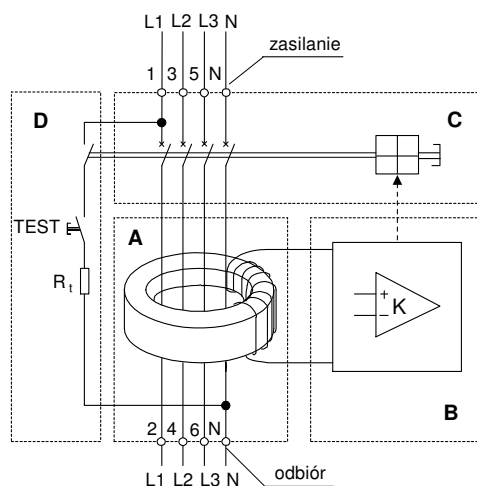
Idea działania wyłącznika różnicowoprądowego została opracowana dawno temu - pierwszy patent niemiecki udzielony został już w 1928 roku. Jednak realizacja praktyczna opatentowanego pomysłu była bardzo trudna. Na przeszkodzie stał bowiem brak dobrego materiału magnetycznego, który mógłby być użyty do budowy przekładnika różnicowego. Dopiero w latach 50-tych pojawiły się wyłączniki w produkcji seryjnej, a seryjna produkcja wyłączników wysokoczułych rozpoczęła się dopiero w końcu lat 60-tych.

Stosowane współcześnie konstrukcje wyłączników różnicowoprądowych można podzielić na dwa zasadnicze rodzaje:

- wyłączniki o wyzwalaniu bezpośrednim (elektromechaniczne)
- wyłączniki o wyzwalaniu pośrednim (wyposażone we wzmacniacz elektroniczny).

Każdy wyłącznik niezależnie od rodzaju konstrukcji składa się z następujących członów funkcjonalnych, które przedstawiono na rys. 8.12:

- członu pomiarowego (A),
- członu wzmacniacza-komparatora (B),
- członu wyłączającego (C),
- członu kontrolnego (D).



Rys. 8.12. Schemat blokowy wyłącznika różnicowoprądowego: A – człon pomiarowy, B - człon wzmacniacza-komparatora, C - człon wyłączający, D - człon kontrolny, R_t - rezystor kontrolny

Człon pomiarowy (A) wyłącznika stanowi przekładnik różnicowy z rdzeniem toroidalnym. Przekładnik ten mierzy geometryczną sumę prądów płynących w przewodach roboczych przyłączonych do wyjścia wyłącznika. W wypadku, gdy suma tych prądów jest różna od zera, w rdzeniu przekładnika pojawia się strumień różnicowy, a w następstwie tego w uzwojeniu różnicowym przekładnika wyindukowana zostaje siła elektromotoryczna SEM, której wartość jest wprost proporcjonalna do prądu upływowego (uszkodzeniowego) - I_{Δ} .

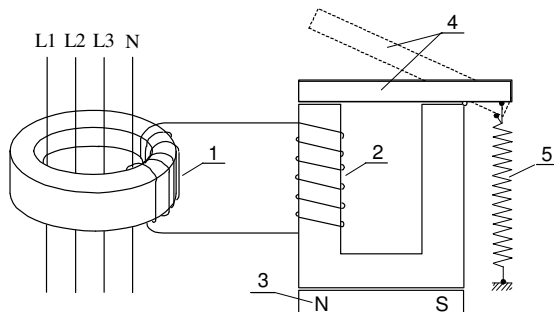
Człon wzmacniacza - komparatora (B) zasilany jest siłą elektromotoryczną SEM wyindukowaną w członie pomiarowym. We wzmacniaczach elektromechanicznych powszechnie używaną konstrukcją jest urządzenie zwane przekaźnikiem spolaryzowanym, którego schemat przedstawiono na rys. 8.13. Jest to przekaźnik z ruchomą zworą (4) i magnesem trwałym (3). Urządzenie działa w ten sposób, że odpadnięcie zwory uruchamia zamek wyłącznika powodując otwarcie styków biegunów roboczych. W stanie zamkniętym wyłącznika zwora przekaźnika spolaryzowanego przytrzymywana jest polem magnetycznym wytworzonym przez magnes trwały. Z chwilą uszkodzenia izolacji obwodu roboczego, płynący do ziemi prąd uszkodzeniowy I_{Δ} powoduje pojawienie się w uzwojeniu elektromagnesu, umieszczonym na rdzeniu przekaźnika spolaryzowanego, prądu różnicowego proporcjonalnego do prądu I_{Δ} . Prąd ten wytwarza pole magnetyczne o częstotliwości 50 Hz, które przy odpowiedniej biegunowości osłabia pole magnetyczne magnesu trwałego i może spowodować odpadnięcie zwory i wyłączenie wyłącznika. Wyłączniki z takim przekaźnikiem spolaryzowanym są przystosowane do pracy z prądem uszkodzeniowym przemiennym i są nazywane wyłącznikami typu AC.

Jeżeli w instalacji może pojawić się prąd uszkodzeniowy pulsujący jednokierunkowy o dowolnej biegunowości lub sterowany fazowo sterownikiem tyrystorowym, należy zastosować wyłącznik typu A, który wyposażony jest w inny rodzaj przekaźnika spolaryzowanego - z rdzeniem nasycającym się. Budowane są również wyłączniki typu B, które nadają się do stosowania w instalacjach prądu przemiennego z prądem uszkodzeniowym pulsującym ze składową stałą do 6 mA i z prądem stałym z niektórych układów prostownikowych.

W wyłącznikach o wyzwaniu pośrednim rolę członu wzmacniacza - komparatora spełnia układ elektroniczny. Wadą takich wyłączników jest konieczność zasilania układu elektronicznego napięciem pomocniczym - zwykle z sieci zasilającej. Przerwanie ciągłości przewodu neutralnego sieci lub obniżenie się napięcia zasilającego poniżej wartości $0,5 \cdot U$ powoduje, że wyłącznik nie działa przy możliwości wystąpienia zagrożenia porażeniowego.

Wyłączniki budowane są na znamionowy różnicowy prąd zadziałania określony jako

$I_{\Delta n}$. Wyłącznik nie może być urządzeniem zbyt czułym. Rzeczywisty prąd zadziałania musi być większy od $0,5 \cdot I_{\Delta n}$, jednak nie większy niż $I_{\Delta n}$. Spełnienie tego wymagania, przy poprawnym doborze wyłącznika różnicowoprądowego, zapewnia jego działanie tylko przy powstaniu uszkodzenia w instalacji, a zapobiega zbędnemu działaniu powodowanemu przez robocze prądy upływowe, występujące w każdej instalacji elektrycznej.



Rys. 8.13. Budowa przekąźnika spolaryzowanego: 1 - uzwojenie różnicowe przekładnika różnicowego, 2 - uzwojenie elektromagnesu przekąźnika spolaryzowanego, 3 - magnes trwały, 4 – ruchoma zwora przekąźnika spolaryzowanego, 5 - sprężyna zwory

Człon wyłączający (C) stanowi układ stykowy wyłącznika mechanizmowego z zamkiem. Uruchomienie zamka wyłącznika sygnałem z układu wzmacniacza - komparatora powoduje jego natychmiastowe wyłączenie. Przy szeregowym łączeniu wyłączników różnicowoprądowych, w celu zapewnienia wybiórczości ich działania, konieczne jest stosowanie specjalnych wyłączników działających ze zwłoką czasową. Wyłączniki takie są oznaczone symbolem S i nazywane wyłącznikami selektywnymi (zwłocznymi).

W wyłącznikach różnicowoprądowych stosuje się zwykle wyłączanie wszystkich biegunów roboczych - fazowych L i bieguna neutralnego N. Wymagane przez normy, określające zasady budowy wyłączników, czasy wyłączenia przy zakłóceniach zależą od krotności prądu uszkodzeniowego I_{Δ} w stosunku do wartości prądu $I_{\Delta n}$ oraz typu wyłącznika. Maksymalne i minimalne czasy wyłączenia wyłączników różnicowoprądowych typu AC przedstawiono w tablicy 8.4. Podane tam maksymalne czasy wyłączania odnoszą się również do wyłączników typu A i B, z tym że wartości prądów uszkodzeniowych (różnicowych) $I_{\Delta n}$, $2 \cdot I_{\Delta n}$, $5 \cdot I_{\Delta n}$ niesinusoidalnych należy powiększyć przy pomiarze czasu zadziałania mnożąc je przez współczynnik 1,4 w przypadku wyłączników, których $I_{\Delta n} > 0,01$ A i przez 2, w przypadku wyłączników, których $I_{\Delta n} \leq 0,01$ A.

Tablica 8.4. Maksymalne i minimalne czasy wyłączenia wyłączników typu AC

Typ wyłącznika	Prąd I_n	Prąd $I_{\Delta n}$	Czas wyłączenia w sekundach dla prądu uszkodzeniowego I_{Δ} o wartości:				Uwagi
	A	A	$I_{\Delta n}$	$2 \cdot I_{\Delta n}$	$5 \cdot I_{\Delta n}^{a)}$	5, 10, 20, 50 A, 100, 200, 500 A ^{b)}	
Bezzwłoczny	dowolny		0,3	0,15	0,04	0,04	czas maksymalny
Selektywny S (zwłoczny)	≥ 25	$\geq 0,03$	0,5	0,2	0,15	0,15	czas maksymalny
			0,13	0,06	0,05	0,05	czas minimalny
a) dla wyłączników o prądzie $I_{\Delta n}$ równym 0,03 A można przyjąć zamiast $5 I_{\Delta n}$ - 0,25 A							
b) dla wyłączników selektywnych przy pominięciu 500 A przy badaniu czasu minimalnego							

Człon kontrolny (D) wyłącznika składa się z szeregowo połączonych : rezystora R_t ograniczającego prąd kontrolny i przycisku testującego oznaczonego na wyłączniku literą "T" lub napisem "TEST". Człon ten umożliwia sprawdzenie poprawności działania wyłącznika załączonego pod napięcie.

Uwaga! Przycisk testujący służy do sprawdzenia poprawności działania samego wyłącznika, a nie do sprawdzenia poprawności działania w instalacji ochrony przeciwporażeniowej.

8.4.2. Parametry znamionowe wyłączników różnicowoprądowych

Każdy wyłącznik różnicowoprądowy charakteryzują następujące parametry:

- napięcie znamionowe – U_n ,
- prąd znamionowy ciągły - I_n ,
- prąd znamionowy różnicowy zadziałania - $I_{\Delta n}$,

Napięcie znamionowe wyłączników różnicowoprądowych wynosi zwykle:

- - dla wyłączników jednofazowych dwubiegunowych - 230 V / 50...60 Hz,
- - dla wyłączników trójfazowych czterobiegunowych - 400 V (230/400 V) / 50...60 Hz.

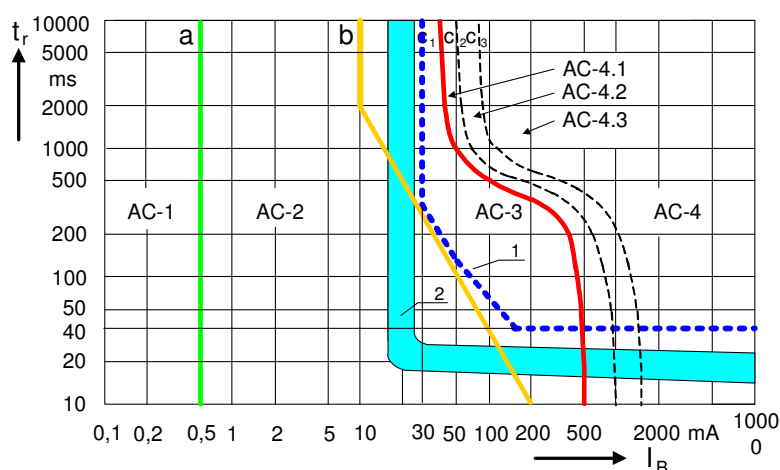
Prądy znamionowe ciągłe (obciążenia) I_n są zgodne z prądami zalecanymi dla wyłączników samoczynnych i wynoszą: 6, 8, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 63 A. Niektóre firmy budują wyłączniki różnicowoprądowe na prąd znamionowy 100, 125 i 160 A. Przy prądach obciążenia większych, buduje się zwykle przekaźniki różnicowoprądowe przystosowane do współpracy z wyłącznikami mechanizmowymi wyposażonymi w wyzwacz zanikowo-napięciowy.

Znamionowe prądy $I_{\Delta n}$ wynoszą: 6, 10, 30, 100, 300, 500 mA, 1 oraz 3 A.

Ze względu na wartość prądu $I_{\Delta n}$ wyłączniki różnicowoprądowe dzielą się na :

- wysokoczułe, których prąd $I_{\Delta n}$ nie przekracza 30 mA,
- średniczułe, których prąd $I_{\Delta n}$ jest większy od 30 mA lecz nie większy od 500 mA,
- niskoczułe, których prąd $I_{\Delta n}$ jest większy od 500 mA.










Wszystkie wyłączniki różnicowoprądowe mogą być stosowane jako urządzenia wyłączające w ochronie przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania. Wyłączniki wysokoczułe dodatkowo mogą stanowić uzupełnienie ochrony przed dotykiem bezpośrednim, czyli chronić przed skutkiem dotknięcia części czynnych, będących w normalnych warunkach pracy instalacji pod napięciem roboczym względem ziemi. Wyłączniki, których prąd $I_{\Delta n}$ nie przekracza 500 mA stanowią również środek ochrony przed pożarem instalacji elektrycznej spowodowanym prądami doziemnymi.



Rys. 8.14. Charakterystyka prądowo-czasowa wysokoczułego wyłącznika różnicowoprądowego o $I_{\Delta n} = 30$ mA wrysowana w wykres stref oddziaływania prądu elektrycznego na organizm człowieka:

- 1 – wykres (wg normy) granicznych dopuszczalnych czasów działania RCD o $I_{\Delta n} = 30$ mA,
- 2 – przykładowa rzeczywista charakterystyka czasowo-prądowa RCD o $I_{\Delta n} = 30$ mA

Tablica 8.5. Typy, oznaczenia i przeznaczenie wyłączników różnicowoprądowych

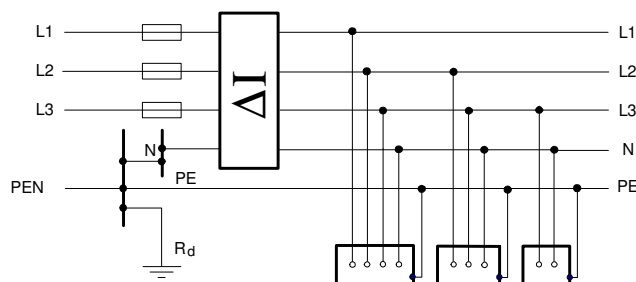
Typ	Oznaczenie	Przeznaczenie
AC		Do stosowania w sieciach z prądem uszkodzeniowym sinusoidalnie zmiennym doprowadzonym w sposób nagły lub wolno narastający
A		Do stosowania w sieciach z prądem uszkodzeniowym sinusoidalnie zmiennym i stałym pulsującym ze składową stałą do 6 ma, ze sterowaniem (lub bez) kąta fazowego, doprowadzonym w sposób nagły lub wolno narastający
B		Do stosowania w sieciach z prądem uszkodzeniowym sinusoidalnie zmiennym i stałym pulsującym ze sterowaniem (lub bez) kąta fazowego oraz z prądem stałym wygładzonym doprowadzonym w sposób nagły lub wolno narastający
		Wyłącznik bezzwłoczny odporny na udarowy prąd różnicowy o wartości 500 A, 8/20μs
G		Wyłącznik krótkozwłoczny odporny na udarowy prąd różnicowy o wartości 3 kA, 8/20 μs
kV		
S		Wyłącznik selektywny, działający z opóźnieniem, przeznaczony do współpracy przy szeregowym połączeniu z wyłącznikiem bezzwłocznym i odporny na udarowy prąd różnicowy 3 kA, 8/20μs
		Wyłącznik przeznaczony do pracy poza pomieszczeniami w temperaturze do minus 25 stopni Celsjusza
		Wyłącznik wymaga zabezpieczenia od strony zasilania bezpiecznikiem typu gG o prądzie nieprzekraczającym 63 A dla zapewnienia wyłączenia prądu zwarciovego podanego przez wytwórcę. Jeżeli dopuszczalny prąd znamionowy jest inny niż 63 A, to jego wartość powinna być podana przy symbolu bezpiecznika.

8.4.3. Instalowanie wyłączników różnicowoprądowych

Wyłączniki różnicowoprądowe reagują na prąd uszkodzeniowy płynący do ziemi albo do przewodu PE. Nie reagują na prądy uszkodzeniowe (zwarciovowe lub przeciążeniowe) płynące jedynie w przewodach roboczych. Dopiero przy prądach przekraczających 6 - krotną wartość znamionowego prądu obciążenia I_n możliwe jest zadziałanie wyłącznika spowodowane dopuszczalną niesymetrią budowy przekładnika różnicowego. Dlatego też, w każdym obwodzie z wyłącznikiem różnicowoprądowym, konieczne jest stosowanie również zabezpieczeń nadprądowych w postaci wyłączników samoczynnych (lub bezpieczników). Wymaganie to nie dotyczy wyłączników różnicowoprądowych z wbudowanym zabezpieczeniem nadprądowym (np. wyłączniki typu P 312 produkcji Legrand-FAEL).

Instalowanie wyłączników w sieci o układzie TN

W najpowszechniej stosowanej w Polsce sieci o układzie TN, wyłącznik różnicowoprądowy może być stosowany pod warunkiem, że instalacja odbiorcza za wyłącznikiem będzie zbudowana w układzie TN-S. Oznacza to, że przed wyłącznikiem różnicowoprądowym przewód PEN sieci o układzie TN-C powinien zostać rozdzielony na dwa oddzielne przewody: przewód neutralny N i przewód ochronny PE. Zgodnie z obowiązującymi przepisami rozdzielanie przewodu PEN w nowych instalacjach powinno nastąpić w złączu lub w rozdzielnicy głównej budynku. Schemat ideowy stosowania wyłącznika w układzie sieciowym TN-S przedstawiono na rys. 8.15.



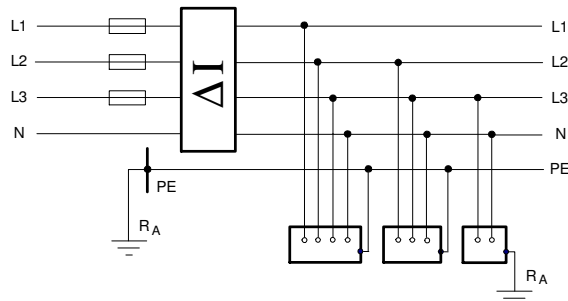
Rys. 8.15. Przykład stosowania wyłącznika różnicowoprądowego w instalacji o układzie TN-S

Do części przewodzących dostępnych odbiorników I klasy powinien być przyłączony przewód ochronny PE. Przewód ten powinien być izolowany od przewodu neutralnego N instalacji za wyłącznikiem.

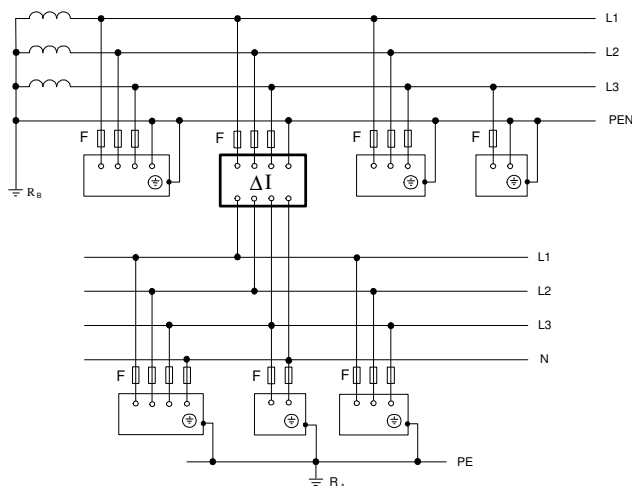
Instalowanie wyłączników w sieci o układzie TT

Schemat ideowy stosowania wyłącznika różnicowoprądowego w sieci o układzie TT przedstawiono na rysunku 8.16. W układzie tym, części przewodzące dostępne wszystkich odbiorników I klasy ochronności powinny być uziemione indywidualnie lub grupowo przez przyłączenie do ich zacisków ochronnych uziemionego przewodu ochronnego PE. Zasady wymiarowania przekroju tego przewodu są takie same jak w układzie TN.

W uzasadnionych wypadkach można stosować sieć o układzie TT z wyłącznikiem różnicowoprądowym zasilaną z sieci TN-C (rys. 8.17). Jest to dopuszczalny sposób stosowania równocześnie w części tej samej sieci układu TN, a w części - układu TT (czyli „zerowania i uziemienia ochronnego” w tej samej sieci TN).



Rys. 8.16. Przykład stosowania wyłącznika różnicowoprądowego w instalacji o układzie TT



Rys. 8.17. Sieć o układzie TN-C z grupą odbiorników zasilanych przez wyłącznik różnicowoprądowy i połączonych w sieć o układzie TT ze wspólnym uziemieniem ochronnym R_A

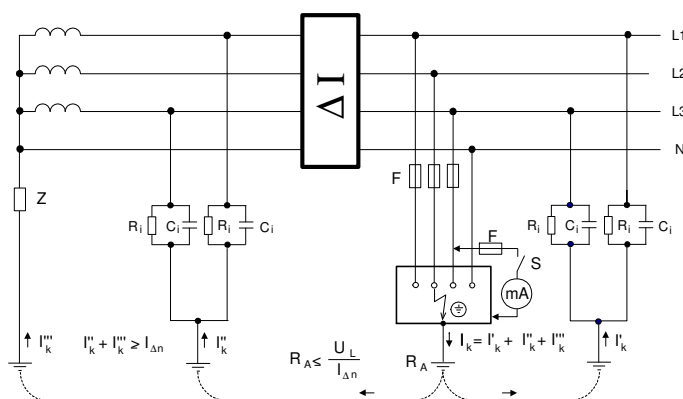
Instalowanie wyłączników w sieci o układzie IT

W sieciach o układzie IT wyłączniki różnicowoprądowe mogą być stosowane dla zapewnienia skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim i wyłączać sieć lub niektóre jej obwody przy pojedynczym zwarciu doziemnym lub tylko przy zwarciach doziemnych podwójnych.

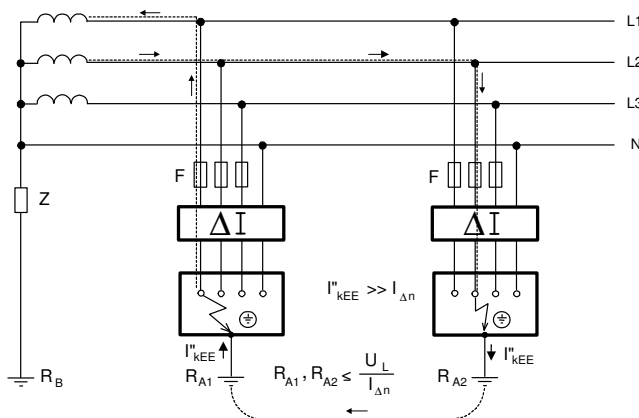
Jeżeli wyłącznik różnicowoprądowy ma wyłączać przy pojedynczym zwarcu doziemnym, to musi być wyłącznikiem wysokoczułym, o prądzie zadziałania $I_{\Delta n}$ mniejszym od prądu pojedynczego zwarcia doziemnego I_k zamykającego się do przewodów sieci przed wyłącznikiem, których izolacja nie jest uszkodzona ($I_{\Delta n} < I_k'' + I_k'''$).

W sieci o małej rozległości, a tym samym o małych pojemnościach i dużych rezystancjach izolacji (C_i , R_i) przewodów sieci względem ziemi a wskutek tego - o bardzo małym prądzie ziemnozwarciowym I_k , stosuje się niekiedy w praktyce dodatkowe uziemienie punktu neutralnego sieci IT przez dużą impedancję Z . Zadaniem takiego uziemienia jest zwiększenie prądu pojedynczego zwarcia doziemnego w sieci do wartości powodującej zadziałanie wyłącznika (rys. 8.18). Na rysunku tym pokazano dodatkowo sposób pomiaru prądu I_k (obwód z wyłącznikiem S , zabezpieczeniem F i miliamperomierzem)

Jeżeli wyłączniki różnicowoprądowe mają wyłączać tylko przy podwójnych zwarciach doziemnych (międzyfazowych), to muszą być zainstalowane w obwodach zasilających pojedyncze urządzenia odbiorcze. Można wtedy stosować wyłączniki niskoczułe, gdyż prądy zwarć podwójnych I_{kEE}'' są z reguły duże, wielokrotnie większe od prądów $I_{\Delta n}$ wyłączników różnicowoprądowych (rys. 8.19).



Rys. 8.18. Sieć o układzie IT z wyłącznikiem RCD wyłączającym zasilanie przy pojedynczym zwarcu doziemnym: Z - dodatkowa impedancja uziemiająca, I_k'' - prąd pojedynczego zwarcia doziemnego zamykający się przez impedancję względem ziemi faz nieuszkodzonych za wyłącznikiem, I_k'' , I_k''' - prądy pojedynczego zwarcia doziemnego zapewniające działanie wyłącznika różnicowoprądowego



Rys. 8.19. Sieć o układzie IT z wyłącznikami RCD działającymi przy podwójnym zwarcu doziemnym: I_{EE}'' - prąd podwójnego zwarcia doziemnego

8.4.4. Wybór znamionowego prądu zadziałania i miejsca stosowania wyłączników różnicowoprądowych

Dla uniknięcia zbędnego zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego, jego znamionowy różnicowy prąd zadziałania $I_{\Delta n}$ powinien być co najmniej 2,5-3 - krotnie większy od maksymalnego roboczego prądu upływowego występującego w chronionej instalacji. Wartość prądu upływowego zależy od stanu izolacji przewodów instalacji, ich długości oraz stanu urządzeń odbiorczych. Największy wpływ na wartość tego prądu mają urządzenia odbiorcze. Z tego względu przy rozległych instalacjach, z dużą ilością zasilanych odbiorników, nie jest możliwe stosowanie jednego wyłącznika wysokoczułego dla ochrony całej instalacji. Jednak przy ograniczeniu rozległości instalacji (np. mieszkanie o powierzchni ok. 70 m²) i przy zwykle stosowanych odbiornikach jak: pralka, chłodziarka, żelazko, a nawet elektryczny ogrzewacz wody o mocy do 1,5 kW - roboczy prąd upływowy nie przekracza zwykle wartości 10 mA i możliwe jest stosowanie wyłącznika o prądzie $I_{\Delta n} = 30$ mA.

W instalacjach, w których konieczne jest stosowanie wyłączników wysokoczułych, uzupełniających ochronę przed dotykiem bezpośrednim, często, dla umożliwienia ich stosowania trzeba instalację podzielić na odrębne obwody (lub grupy obwodów) i każdy taki obwód zasilac przez oddzielny wysokoczuły wyłącznik różnicowoprądowy.

Wyłączniki różnicowoprądowe powinny być instalowane w szafkach rozdzielczych w pobliżu zabezpieczeń nadprądowych, w miejscach dostępnych dla użytkownika instalacji. Obowiązek stosowania wyłączników różnicowoprądowych wynika głównie z postanowień części 7 normy PN-IEC 60364. Wyłączniki powinny być stosowane w szczególności w miejscach przedstawionych w tabelicy 8.6.

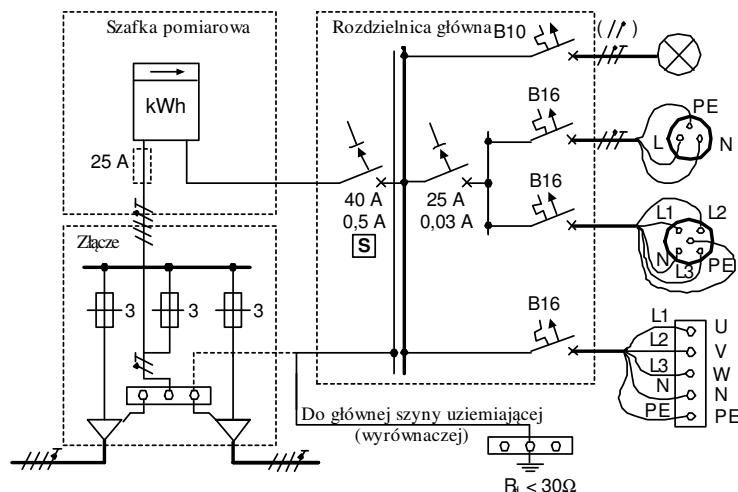
Tablica 8.6. Wymagane miejsca stosowania wyłączników różnicowoprądowych (do momentu wejścia do stosowania normy PN-HD 60364-4-41:2009)

Lp.	Zasilane obwody (instalacje)	$I_{\Delta n}$
1	Obwody gniazd wtyczkowych w pomieszczeniach z wanną lub natryskiem	≤ 30 mA
2	Obwody gniazd wtyczkowych na placach budowy i robót rozbiórkowych	≤ 30 mA
3	Obwody gniazd wtyczkowych do zasilania urządzeń pracujących poza pomieszczeniami (dopuszcza się, aby kołki ochronne gniazd wtyczkowych były połączone z oddzielnym uziomem ochronnym R_A - układ TT)	≤ 30 mA
4	Instalacje elektryczne w gospodarstwach rolniczych i ogrodniczych: - obwody gniazd wtyczkowych - pozostałe obwody (całość instalacji)	≤ 30 mA ≤ 500 mA
5	Instalacje elektryczne w basenach pływackich (krytych lub otwartych)	≤ 30 mA
6	Instalacje elektryczne w pomieszczeniach sauny	≤ 30 mA
7	Instalacje elektryczne na kempingach i w pojazdach wypoczynkowych	≤ 30 mA
8	Instalacje w pomieszczeniach zagrożonych pożarem	≤ 500 mA

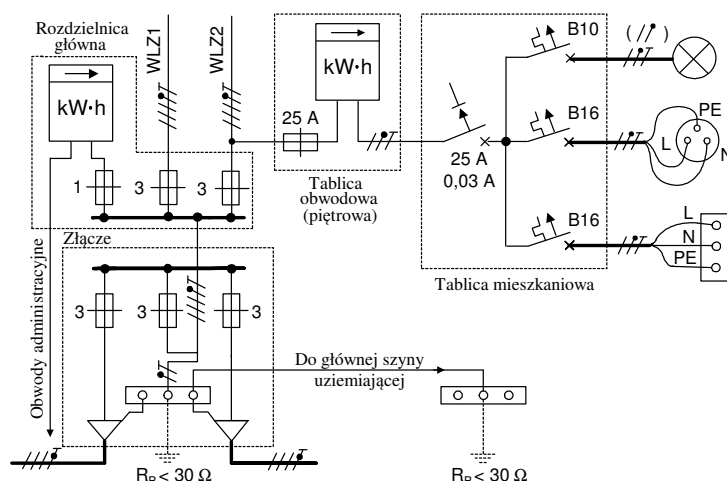
Na rysunkach 8.20 i 8.21 przedstawiono przykłady zastosowania wyłączników różnicowoprądowych w instalacjach elektrycznych budynku mieszkalnego jednorodzinne i wielorodzinne.

W instalacjach elektrycznych budynków mieszkalnych należy dążyć do ochrony jak największej części instalacji wysokoczułym wyłącznikiem różnicowoprądowym. W szczególności należy chronić:

- obwód gniazd wtyczkowych w łazience,
- obwód gniazd wtyczkowych w kuchni,
- obwód gniazd wtyczkowych w piwnicy,
- obwód gniazd wtyczkowych w garażu.



Rys. 8.20. Przykład instalacji elektrycznej z wyłącznikami RCD w budynku jednorodzinny



Rys. 8.21. Przykład budowy instalacji elektrycznej z wyłącznikami RCD w budynku wielorodzinnym

W instalacjach elektrycznych z wyłącznikami różnicowoprądowymi skuteczność funkcjonowania systemu ochrony zależy w pierwszym rzędzie od poprawności działania samego wyłącznika. Poprawność działania samego wyłącznika sprawdza się zawsze tak samo, niezależnie od rodzaju układu sieci (TN-S, TT, IT), w której wyłącznik jest zainstalowany. Pierwszą czynnością po zainstalowaniu wyłącznika jest sprawdzenie jego działania za pomocą przycisku "TEST". W tym celu każdy wyłącznik różnicowoprądowy jest wyposażony w obwód kontrolny, którego uruchomienie powoduje zamodelowanie warunków takich, jak przy uszkodzeniu występującym w instalacji. Po naciśnięciu przycisku oznaczonego symbolem "T" lub napisem "TEST", sprawny, prawidłowo zainstalowany i zasilany (będący pod napięciem) wyłącznik musi natychmiast zadziałać. Sprawdzenie takie powinno być wykonywane okresowo. W instrukcjach stosowania wyłączników (lub nawet w miejscach widocznych po zamontowaniu wyłącznika na ich obudowach) wytwórcy wyłączników podają zalecany termin wykonywania takich sprawdzeń. Dla przeciętnych, normalnych (np. w mieszkaniu) warunków pracy instalacji zwykle zaleca się wykonywanie sprawdzeń raz na 2 tygodnie, raz na miesiąc lub rzadziej "okazjonalnie". W bardzo trudnych warunkach pracy, na przykład przy posługiwaniu się urządzeniem ręcznym na stanowisku przewodzącym, można zalecić sprawdzanie poprawności działania wyłącznika nawet codziennie przed rozpoczęciem pracy.

Jeżeli po naciśnięciu przycisku "T" ("TEST") wyłącznik nie zadziała (nie wyłączy zasilanego obwodu), należy odstąpić od dalszych badań i orzec jego niesprawność. Wyłącznik taki powinien być natychmiast wymieniony na sprawny. Sprawdzenie działania wyłącznika przez naciśnięcie przycisku "TEST" nie jest jednak wystarczające przy wykonywaniu badań odbiorczych lub eksploatacyjnych ochrony przeciwporażeniowej, ponieważ prąd kontrolny, zgodnie z wymaganiami norm dotyczących budowy wyłączników różnicowoprądowych, może być nawet 2,5 razy większy od znamionowego różnicowego prądu zadziałania ($I_{\Delta n}$). Dlatego też, w czasie wykonywania badań odbiorczych lub okresowych, konieczne jest dokładniejsze sprawdzenie działania samego wyłącznika. Sprawdzenie takie może być wykonane przy użyciu specjalistycznych przyrządów pomiarowych lub metodą techniczną.

8.4.5. Uwagi do stosowania wyłączników różnicowoprądowych

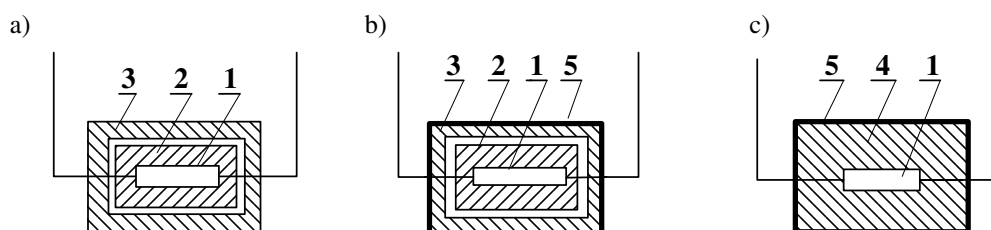
1. Wysoki poziom ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach z wyłącznikami różnicowoprądowymi nie zwalnia instalatora i użytkownika instalacji z obowiązku przestrzegania wszystkich przepisów dotyczących instalacji elektrycznych.
2. Różne obwody jednej sieci powinny być w miarę możliwości chronione przez oddzielne wyłączniki różnicowoprądowe. Przez to zapewni się, że przy uszkodzeniu w jednym z obwodów nie zostanie wyłączona spod napięcia cała sieć.
3. Wyłącznik różnicowoprądowy musi być podłączony zgodnie ze wskazaniem producenta. W szczególności należy zwrócić uwagę na prawidłowe przyłączenie do odpowiednich zacisków przewodu neutralnego oraz na kierunek przepływu energii przez wyłącznik.
4. Wszystkie przewody będące częściami czynnymi zasilające chroniony obwód: fazowe - L1, L2, L3 oraz przewód neutralny N - muszą być prowadzone przez wyłącznik różnicowoprądowy.
5. Wszystkie przewody obwodu odbiorczego będące częściami czynnymi: fazowe - L1, L2, L3 oraz przewód neutralny N - powinny być izolowane od ziemi. W szczególności należy sprawdzić, czy w obwodzie odbiorczym za wyłącznikiem przewód neutralny N nie jest połączony z przewodem ochronnym PE. Połączenie takie wyłącznik określa jako uszkodzenie obwodu, nakazujące wyłączenie.
6. Przewód ochronny PE powinien być przyłączony do zacisku ochronnego wszystkich gniazd wtyczkowych ze stykiem ochronnym. Poprzez te gniazda lub bezpośrednio powinien być przyłączony do zacisku ochronnego urządzeń odbiorczych I klasy ochronności – czyli do części przewodzących dostępnych urządzeń elektrycznych, które mogą znaleźć się pod napięciem w razie uszkodzenia izolacji roboczej.
7. Osoba instalująca wyłącznik musi sprawdzić poprawność jego działania i zainstalowania. Sprawdzenie powinno obejmować:
 - a) naciśnięcie przycisku kontrolnego "TEST" wyłącznika załączonego pod napięcie,
 - b) sprawdzenie rzeczywistego różnicowego prądu zadziałania wyłącznika (sprawdzenie najlepiej wykonać przyłączając przyrząd pomiarowy do zacisków wyłącznika ΔI),
 - c) sprawdzenie, przez pomiar rezystancji izolacji, czy przewód neutralny N za wyłącznikiem jest izolowany od ziemi i od przewodu ochronnego PE. Rezystancja izolacji zmierzona miernikiem izolacji o napięciu 500 V nie może być mniejsza niż 0,5 M Ω ,
 - d) sprawdzenie ciągłości połączeń przewodów ochronnych PE, a w układach TT – dodatkowo pomiar rezystancji uziemienia ochronnego R_A .
8. Osoba instalująca wyłącznik musi poinformować użytkownika instalacji o obowiązku okresowego (zgodnie z zaleceniami wytwórcy wyłącznika - najczęściej co miesiąc) sprawdzania poprawności działania wyłącznika przez naciśnięcie przycisku "T" ("TEST").

8.5. Ochrona przez zastosowanie urządzeń II klasy ochronności

Ochrona przez zastosowanie urządzeń II klasy ochronności lub o izolacji równoważnej polega na zastosowaniu:

- wykonanych fabrycznie urządzeń mających izolację podwójną lub wzmocnioną (urządzenia II klasy ochronności),
- zespołu urządzeń elektrycznych fabrycznych w pełni izolowanych,
- urządzeń o izolacji podstawowej z wykonaną w czasie montażu instalacji elektrycznej izolacją dodatkową zapewniającą stopień bezpieczeństwa równoważny urządzeniom elektrycznym II klasy ochronności,
- urządzeń o izolacji wzmocnionej pokrywającej nieizolowane części czynne wykonanej w czasie montażu instalacji zapewniającej stopień bezpieczeństwa, równoważny urządzeniom elektrycznym II klasy ochronności i spełniające dalej opisane dodatkowe wymagania.

Na rys. 8.22 przedstawiono zasadę budowy urządzeń II klasy ochronności w obudowie izolacyjnej lub metalowej.



Rys. 8.22. Budowa urządzeń II klasy ochronności: a) z izolacją podwójną przy czym izolacja dodatkową jest obudowa izolacyjna, b) – z izolacją podwójną i obudową metalową, c) z izolacją wzmocnioną i obudową metalową: 1 – część czynna, 2 – izolacja podstawowa, 3 – izolacja dodatkowa, 4 – izolacja wzmocniona, 5 – część przewodząca dostępna

Dzięki zastosowaniu izolacji podwójnej lub wzmocnionej, izolacja całkowita urządzeń II klasy ochronności ma dwukrotnie większą wytrzymałość elektryczną i mechaniczną. Jej uszkodzenie jest mało prawdopodobne i praktycznie na częściach przewodzących dostępnych nie pojawia się napięcie dotykowe.

Urządzenia o izolacji podstawowej i wykonanej w czasie montażu instalacji elektrycznej izolacji dodatkowej oprócz zapewnienia stopnia ochrony wymaganego dla urządzeń II klasy ochronności powinny:

- być oznaczone w widocznym miejscu na zewnątrz i wewnątrz obudowy symbolem
- mieć wszystkie części przewodzące oddzielone od części czynnych tylko izolacją podstawową, osłonięte obudową izolacyjną (izolacją dodatkową) zapewniającą stopień ochrony co najmniej IP2X oraz odporną na spodziewane obciążenie mechaniczne, elektryczne i termiczne.

Obudowa izolacyjna (izolacja dodatkowa), o której mowa wyżej, powinna również:

- mieć przeprowadzoną próbę wytrzymałości elektrycznej zgodnie z warunkami podanymi w normie,
- nie zawierać żadnych śrub z materiału izolacyjnego, których zastąpienie przez śruby metalowe mogłyby pogorszyć izolację zapewnioną przez obudowę; przez obudowę izolacyjną nie powinny przechodzić części przewodzące umożliwiające przenoszenie potencjału,

- być wyposażone w przegrody izolacyjne zapewniające stopień ochrony IP2X osłaniające części czynne, które mogłyby być dostępne w wyniku otwarcia pokrywy lub drzwi obudowy izolacyjnej bez użycia narzędzi lub klucza.

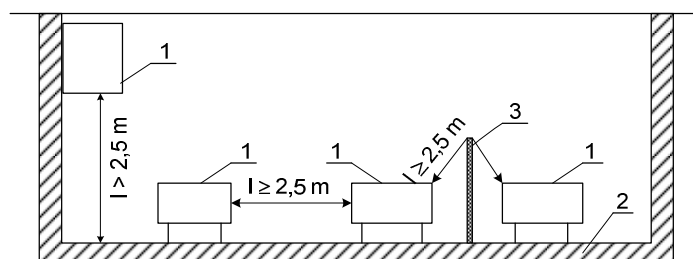
Urządzenia II klasy ochronności mogą być stosowane we wszystkich układach sieciowych z wyjątkiem pewnych przypadków wymienionych w normach, np. w części 7 normy PN-IEC 60364.

8.6. Ochrona przez zastosowanie izolowanego stanowiska

Zastosowanie ochrony przez użycie izolowanego stanowiska ma na celu zapobieżenie porażenia człowieka stojącego na takim stanowisku i dotykającego części przewodzących, na których pojawi się niebezpieczne napięcie dotykowe.

Środek ten ma jednak ograniczony zakres, gdyż nie zapobiega rażeniu i nie powoduje wyłączenia uszkodzonego urządzenia (obwodu). Nie może być też stosowany w warunkach, w których właściwości elektryczne i mechaniczne izolacji mogą ulec pogorszeniu (dlatego też w zasadzie może być stosowany tylko w suchych pomieszczeniach). Ochrona przez zastosowanie izolowanego stanowiska jest skuteczna gdy:

- stanowisko ma podłogę i ściany izolowane tak, że w każdym ich punkcie rezystancja izolacji nie jest mniejsza od:
 - **50 k Ω** – jeżeli napięcie znamionowe instalacji nie przekracza 500V,
 - **100 k Ω** – jeżeli napięcie znamionowe instalacji przekracza 500V,
- na izolowane stanowisko nie jest wprowadzony przewód ochronny,
- wzajemne oddalenie części przewodzących dostępnych i oddalenie tych części od części przewodzących obcych wynosi co najmniej 2,5 m (rys. 8.23),
- części przewodzące obce zostaną izolowane izolacją wytrzymałą mechanicznie, wytrzymującą próbę napięciem 2 kV, a prąd upływu nie przekracza 1 mA,
- części przewodzące dostępne znajdujące się w odległości mniejszej niż 2,5 m są oddzielone barierą (przeszkodą) zwiększającą odległość niezamierzonego równoczesnego dotyku do co najmniej 2,5 m (rys. 8.23).

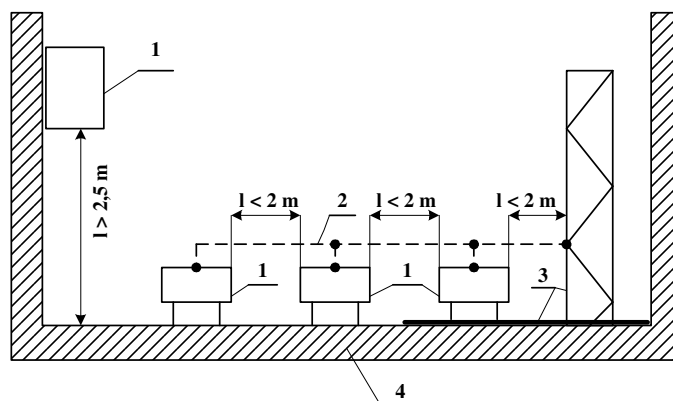


Rys. 8.23. Minimalne odległości między częściami przewodzącymi dostępnymi na izolowanym stanowisku: 1 - część przewodząca dostępna, 2 – izolowane stanowisko, 3 – bariera

8.7. Ochrona przez zastosowanie nieziemionych połączeń wyrównawczych

Ochrona przez zastosowanie nieziemionych połączeń wyrównawczych ma zapobiegać porażeniom przy dotyku pośrednim na drodze ręka-ręka, gdy jednocześnie nie występuje zagrożenie przy drodze ręka-stopę tzn. stanowisko jest izolowane. Nieziemione przewody połączeń wyrównawczych miejscowych powinny łączyć między sobą wszystkie części przewodzące obce znajdujące się na izolowanym stanowisku i w odległości mniejszej od 2 m.

Przewody nieziemionych połączeń wyrównawczych powinny spełniać wymagania stawiane przewodom ochronnych połączeń wyrównawczych miejscowych.

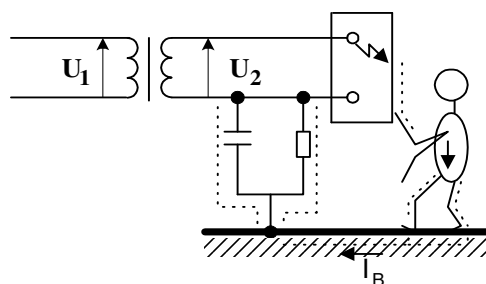


Rys. 8.24. Ochrona przez zastosowanie nieuziemionych połączeń wyrównawczych: 1 – część przewodząca dostępna, 2 – przewód połączenia wyrównawczego, 3 – część przewodząca obca, 4 – izolowane stanowisko

Ochrona przez zastosowanie separacji elektrycznej polega na:

- Źródłem obwodu separowanego** mogą być tylko transformatory separacyjne (transformatory o specjalnej budowie wg PN-IEC 742+A1; 1997) lub źródła zapewniające poziom bezpieczeństwa równoważny transformatorowi separacyjnemu, np. przetwornice separacyjne.

Ruchome i stałe źródła separacyjne przyłączone do obwodów rozdzielczych instalacji elektrycznej powinny być urządzeniami II klasy ochronności lub zapewniające bezpieczeństwo równoważne. Cel i zasadę działania ochrony przez separację elektryczną przedstawiono na rysunku 8.25.



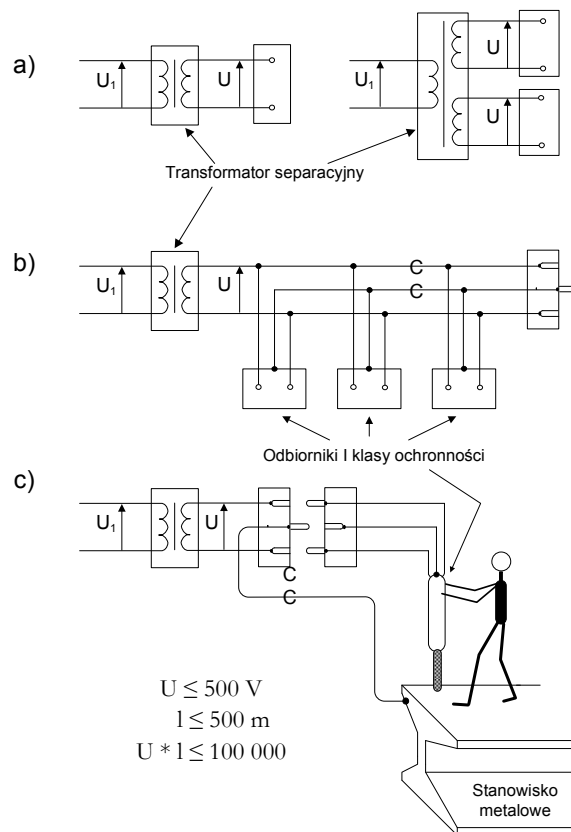
Rys. 8.25. Separacja elektryczna pojedynczego odbiornika

Zaleca się przy tym, aby w obwodzie separowanym iloczyn napięcia znamionowego w woltach i łączna długość oprzewodowania (obwodów) w metrach nie przekroczyła 100 000 i aby łączna długość oprzewodowania nie przekroczyła 500 m. Spełnienie tych zaleceń pozwala na istotne ograniczenie prawdopodobieństwa powstania zwarcia doziemnego w obwodzie oraz wpływa na ograniczenie spodziewanej wartości prądu rażeniowego I_B , jaki może popłynąć przez ciało osoby dotykającej urządzenia z uszkodzoną izolacją. Należy też zwrócić szczególną uwagę na izolację tych części w stosunku do ziemi. Obwody powinny zapewniać separację elektryczną od ziemi i innych obwodów nie mniejszą niż między uzwojeniem pierwotnym i wtórnym transformatora separacyjnego. Przewody obwodu separowanego zaleca się prowadzić oddzielnie od innych obwodów przez ułożenie ich w osobnej rurze, w osobnym korytku lub osobnej przegrodzie korytka (kanału) instalacyjnego wykonanego z materiału izolacyjnego. Dopuszcza się, aby przewodami obwodu separowanego były żyły przewodu wielożyłowego nie mającego jednak powłoki metalowej ani opancerzenia, przy czym napięcie znamionowe izolacji żył obwodu separowanego nie powinny mieć wartości niższej od napięcia izolacji pozostałych żył i wszystkie obwody powinny być zabezpieczone przed prądami przetężeniowymi.

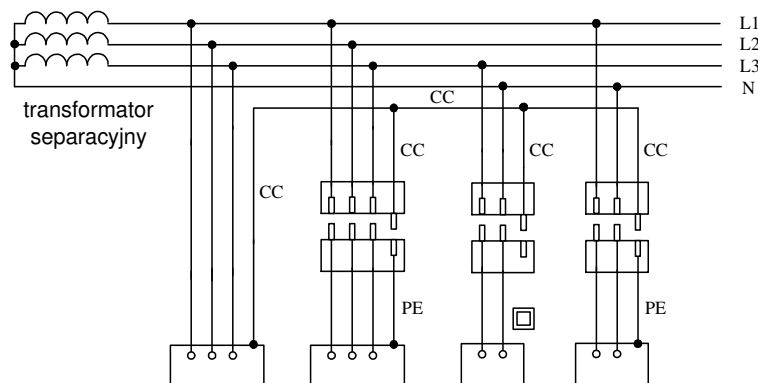
Ochrona przez separacją elektryczną jest szczególnie skuteczna przy zasilaniu jednego odbiornika. Dopuszcza się zasilanie z uzwojenia wtórnego transformatora separacyjnego więcej niż jednego odbiornika pod warunkiem spełnienia poniższych wymagań:

- wszystkie części przewodzące dostępne były połączone przewodami wyrównawczymi miejscowymi (najlepiej prowadzonymi wraz z obwodami separowanymi,
- w przypadku zwarcia podwójnego powinno nastąpić samoczynne przerwanie obwodu zwarciovego w czasie wymaganym przy zwarciach pojedynczych w układach TN,
- zapewniona jest ochrona przewodów przed uszkodzeniem i zniszczeniem izolacji.

Zasady stosowania separacji elektrycznej przedstawiono na rysunkach 8.26 i 8.27.



Rys. 8.26. Zasada stosowania separacji elektrycznej: a) pojedynczego odbiornika, b) grupy odbiorników, c) odbiornika użytkowanego na metalowym stanowisku przewodzącym



Rys. 8.27. Połączenie wyrównawcze dodatkowe łączące części przewodzące dostępne odbiorników zasilanych z jednego źródła separacyjnego

9. RÓWNOCZESNA OCHRONA PRZED DOTYKIEM BEZPOŚREDNIM I POŚREDNIM

(zlikwidowana w nowej normie PN-HD 60363-4-41 - wprowadzona jako jeden ze środków ochrony przy uszkodzeniu)

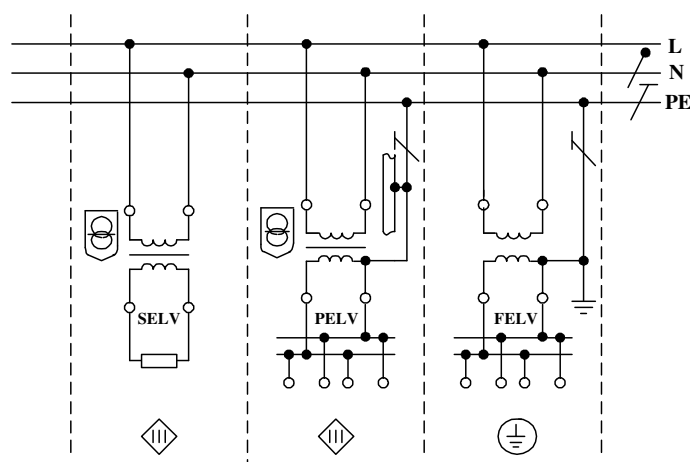
Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim jest realizowana przez zastosowanie obwodów oznaczonych **SELV** lub **PELV**. Nazwy obu typów obwodów mają wspólny człon ELV (extra low voltage) oznaczający bardzo niskie napięcie, tj. napięcie należące do I zakresu napięciowego określonego w normie PN-91/E-05010: $U \leq 50$ V a.c. lub $U \leq 120$ V d.c. Stąd też często używa się niepełnego określenia – „ochrona przez zastosowanie bardzo niskiego napięcia”. Określenie to może być mylące, gdyż zastosowanie bardzo niskiego napięcia nie jest warunkiem wystarczającym, aby ochronę przeciwporażeniową można było uznać za skuteczną. Pierwsza litera oznaczenia obwodu określa przedstawione w tablicy 12.1 cechy każdego typu obwodu.

W obwodach SELV i PELV muszą być spełnione równocześnie następujące, sformułowane ogólnie, warunki:

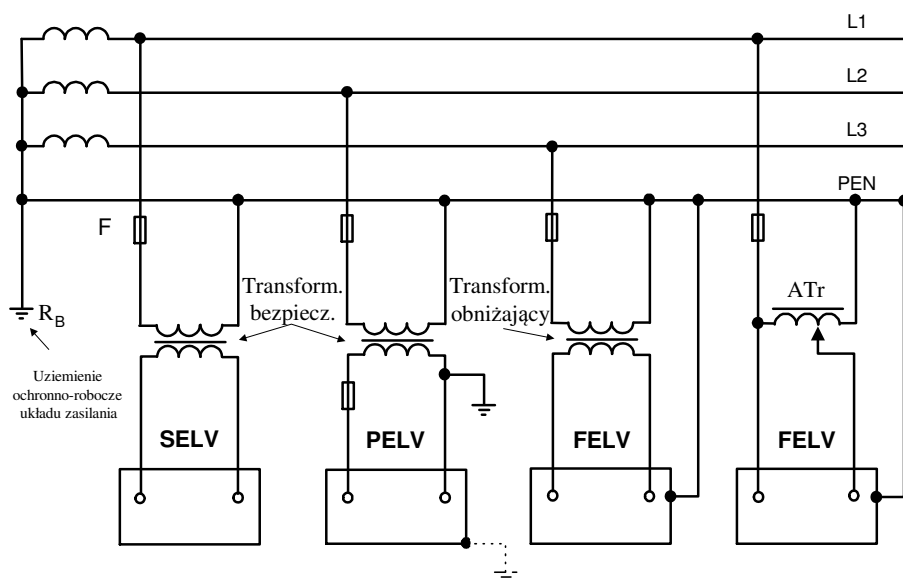
- napięcie znamionowe obwodów powinno mieścić się w I zakresie napięciowym a jego wartość powinna być dobrana do występującego stopnia zagrożenia porażeniowego,
- sposób wykonania obwodów powinien zapewniać, odpowiednią do typu, separację obwodów SELV i PELV od obwodów wyższych napięć (w warunkach normalnych i zakłóceń),
- w określonych przez normę PN-IEC 60364-4-41 warunkach powinny być zastosowane odpowiednie środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim.

W obwodach, w których zastosowano bardzo niskie napięcie lecz nie spełniono co najmniej jednego z ww. warunków powinny być stosowane środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim skoordynowane ze środkami ochrony stosowanymi w obwodach wyższego napięcia (należących do II zakresu napięciowego). Takie obwody są oznaczane literami **FELV**.

Główne cechy źródeł zasilania i dopuszczalności połączenia części czynnych obwodów SELV, PELV i FELV z uziomami i przewodami ochronnymi obwodów wyższego napięcia przedstawiono na rysunkach 9.1 i 9.2.



Rys. 9.1. Porównanie niektórych cech obwodów SELV, PELV i FELV



Rys. 9.2. Zasada przyłączania odbiorników do sieci zasilającej typu SELV, PELV i FELV

Obwody SELV i PELV mogą być stosowane do zasilania urządzeń odbiorczych prądu przemiennego – i stałoprądowych (a.c. i d.c.). Aby uniknąć pojawienia się (w warunkach zakłóceń), na wejściu obwodów SELV lub PELV, napięć wyższych od dopuszczalnych U_L norma PN-IEC 60364-4-41 dopuszcza stosowanie następujących źródeł zasilania w/w obwodów:

- transformatorów ochronnych (bezpieczeństwa) spełniających wymagania PN-IEC 742+A1,
- źródeł prądu zapewniających stopień bezpieczeństwa równoważny temu, jaki ma transformator bezpieczeństwa, np. przetwornicy dwumaszynowej z uzwojeniami zapewniającymi równoważną izolację,
- źródeł elektrochemicznych, np. baterii akumulatorów, lub innych źródeł niezależnych od obwodu wyższego napięcia, np. zespołów prądotwórczych zasilanych silnikami spalinowymi,
- urządzeń elektronicznych o budowie znormalizowanej, w których zastosowano takie środki, że w przypadku uszkodzenia wewnętrznego napięcie na zaciskach wyjściowych nie przekroczy napięcia U_L ; dopuszcza się na zaciskach wyjściowych tego rodzaju urządzenia wystąpienia napięcia wyższego, jeżeli przy dotyku bezpośrednim lub pośrednim napięcie na tych zaciskach obniży się do wartości U_L lub niższej.

Najczęściej w obwodach SELV i PELV stosowane są transformatory bezpieczeństwa o napięciach znamionowych strony wtórnej 6, 12, 24 i 42 V i o mocy od 25 VA do 10 kVA, jeżeli są to transformatory jednofazowe, oraz o mocy od 630 VA do 16 kVA, jeżeli są to transformatory trójfazowe.

W normie PN-IEC 742 podane są również wymagania stawiane obwodom SELV i PELV a dotyczące ich części czynnych, części przewodzących dostępnych, sposobu prowadzenia przewodów, wtyczek i gniazd wtyczkowych oraz ochrony przeciwporażeniowej.

Najważniejsze, przedstawione w normie, wymagania stawiane obwodom SELV i PELV zestawiono w tabeli 9.1.

Tablica 9.1. Wymagania stawiane obwodom SELV i PELV

Elementy obwodu SELV lub PELV	Wymagania stawiane elementom obwodów	
	SELV	PELV
Źródło zasilania	1. Należy stosować transformatory bezpieczeństwa (ochronne) lub inne źródła zapewniające nie mniejszy stopień oddzielenia obwodu bardzo niskiego napięcia od obwodu wyższego napięcia. 2. Wartości napięć znamionowych obwodów SELV lub PELV nie mogą przekraczać 50 V a.c. lub 120 V d.c. i napięcia dopuszczalnego U_L dla rozpatrywanych warunków użytkowania obwodów.	
Części czynne	Części czynne powinny być oddzielone od obwodów wyższego napięcia . Nie powinny być one połączone z uziomami i z przewodami ochronnymi innych obwodów.	Określone części czynne mogą być połączone z uziomem i przewodami ochronnymi obwodów wyższego napięcia.
Części przewodzące dostępne	Części przewodzące dostępne nie powinny być uziemione i połączone z przewodami ochronnymi oraz częściami przewodzącymi dostępnymi innych obwodów a także z częściami przewodzącymi obcymi z wyjątkami podanymi w normie	Części przewodzące dostępne mogą być połączone z uziomem lub uziemionymi przewodami ochronnymi obwodów wyższego napięcia.
Przewody	Przewody powinny być prowadzone oddzielnie od obwodów wyższego napięcia. Dopuszcza się prowadzenie ww. obwodów obok siebie jeżeli: - przewody obwodu SELV lub PELV umieszczone zostaną w dodatkowej osłonie izolacyjnej, lub - oddzielone zostaną metalowym ekranem lub osłoną, lub - będą miały izolację o napięciu wymaganym dla obwodów o wyższym napięciu.	
Wtyczki i gniazda wtyczkowe	Wtyczki i gniazda wtyczkowe nie powinny pasować do wtyczek i gniazd obwodów o innym napięciu i nie mogą mieć styku ochronnego.	
Ochrona przed dotykiem bezpośrednim	Przy $U_n < 25$ V a.c. lub 60V d.c. nie wymaga się stosowania ochrony. Przy $U_n > 25$ V a.c. lub 60 V d.c. należy stosować izolację podstawową, ogrodzenie lub obudowę co najmniej o IP 2X.	Należy stosować izolację podstawową, ogrodzenia lub obudowy co najmniej o IP 2X. Ochrona nie jest konieczna w obwodach o napięciu nie przekraczającym 25 V a.c. lub 60 V d.c., jeżeli zagrożenie jest małe.
Ochrona przed dotykiem pośrednim	Nie wymaga się stosowania środków ochrony przed dotykiem pośrednim	

Dopuszcza się, aby obwody o różnych napięciach były prowadzone w przewodzie wielożyłowym lub w oddzielnych przewodach ułożonych grupowo, pod warunkiem, że przewody obwodów SELV i PELV będą miały izolację indywidualną lub wspólną na najwyższe napięcie występujące w tym przewodzie wielożyłowym lub w grupie przewodów.

10. NOWE WYMAGANIA STAWIANE OCHRONIE PRZECIWPORAŻENIOWEJ W NORMIE PN-HD 60364-4-41:2009

(uzupełnienie do rozdziałów 7, 8 i 9)

10.1. Wstęp

W roku 2003 wprowadzono do katalogu Polskich Norm normę uznaniową PN-EN 61140:2003 (U). Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym – Wspólne aspekty instalacji i urządzeń. Jej wersja polska ukazała się w 2005 roku. Jest to norma niezwykle ważna i niestety mało znana. W normie tej zapisano, że „jej celem jest podanie podstawowych zasad i wymagań, które są wspólne dla instalacji, sieci i urządzeń elektrycznych lub niezbędne dla ich koordynacji”. Wymagania normy dotyczą głównie ochrony przeciwporażeniowej w obiektach elektroenergetycznych niskiego napięcia, ale niektóre postanowienia odnoszą się również lub tylko do ochrony przeciwporażeniowej w obiektach wysokiego napięcia. W normie tej zastosowano terminologię i podano zasady różniące się często w sposób istotny od tych, do których środowisko elektryków przyzwyczajało się przez ostatnie kilkanaście lat. Wprawdzie postanowienia te są przewidziane do stosowania „tylko wtedy, gdy zostaną one włączone lub przywołane w stosowanych normach” ale proces wprowadzania tych postanowień do innych norm międzynarodowych już się rozpoczął. Pod koniec 2005 r. IEC przesłała do krajowych Komitetów Normalizacyjnych projekt dokumentu IEC 603 64-4-41, Ed.5 z prośbą o wyrażenie opinii o tym projekcie. Projekt normy został opracowany przy uwzględnieniu postanowień normy IEC 61140:2001 i równoważnej normy polskiej PN-EN 61140. Dokument ten został już zatwierdzony i w grudniu 2005 r. został ustanowiony jako norma IEC 60364-4-41:2005. Postanowienia zawarte w tej normie znalazły się w europejskim dokumencie normalizacyjnym HD 60363-4-41:2007, któremu 10 maja 2007 r. nadano status polskiej normy PN-HD 60364-4-41:2007. W listopadzie 2009 r. polski tekst tej normy opublikowano jako normę PN-HD 60364-4-41:2009. Należy przypuszczać, że w najbliższym czasie nowa norma zostanie powołana w nowelizacji rozporządzenia o warunkach technicznych, jakim mają odpowiadać budynki i ich usytuowanie, a tym samym zostanie wprowadzony obowiązek jej stosowania.

10.2. Zakres tematyczny normy PN-HD 60364-4-41:2009

Norma PN-HD 60364-4-41:2009 zastępuje dotychczasową polską normę PN-IEC 60364-4-41:2007 (oryg). W normie tej przewidziano zmiany nie tylko postanowień wynikających z IEC 61140, ale również zmiany wielu postanowień dotyczących kryteriów ochrony.

W normie PN-HD 60364-4-41, tak jak w normie PN-EN 61140, stosowane są terminy „środek ochrony”, „środek ochrony podstawowej”, „środek ochrony przy uszkodzeniu”. Każdy z tych terminów oznacza co innego. Użycie terminu „środek ochrony” oznacza środek składający się ze środka (elementu) ochrony podstawowej i środka (elementu) ochrony przy uszkodzeniu lub jest środkiem spełniającym równocześnie obie funkcje.

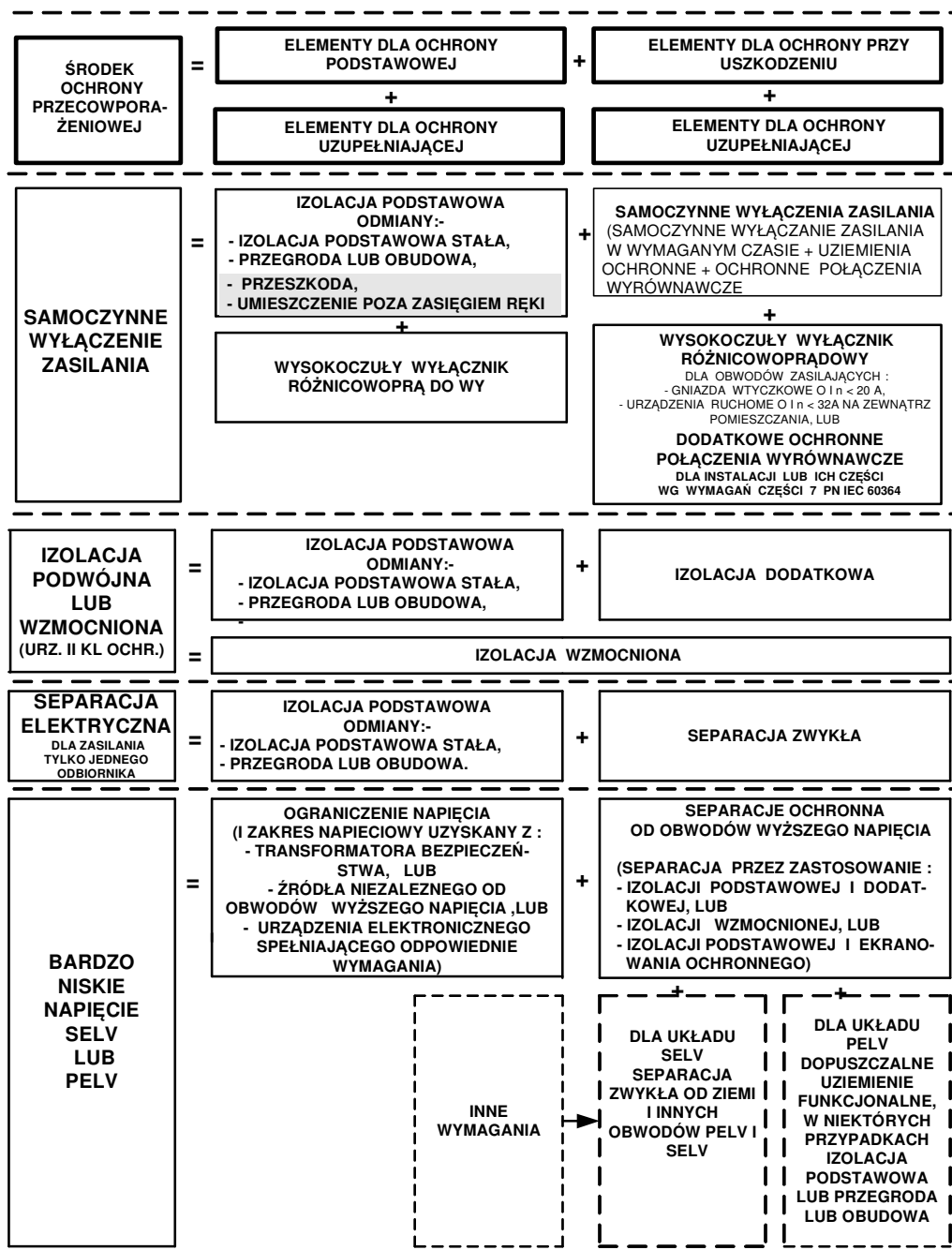
10.3. Wymagania podstawowe

Każdy środek ochrony powinien składać się z:

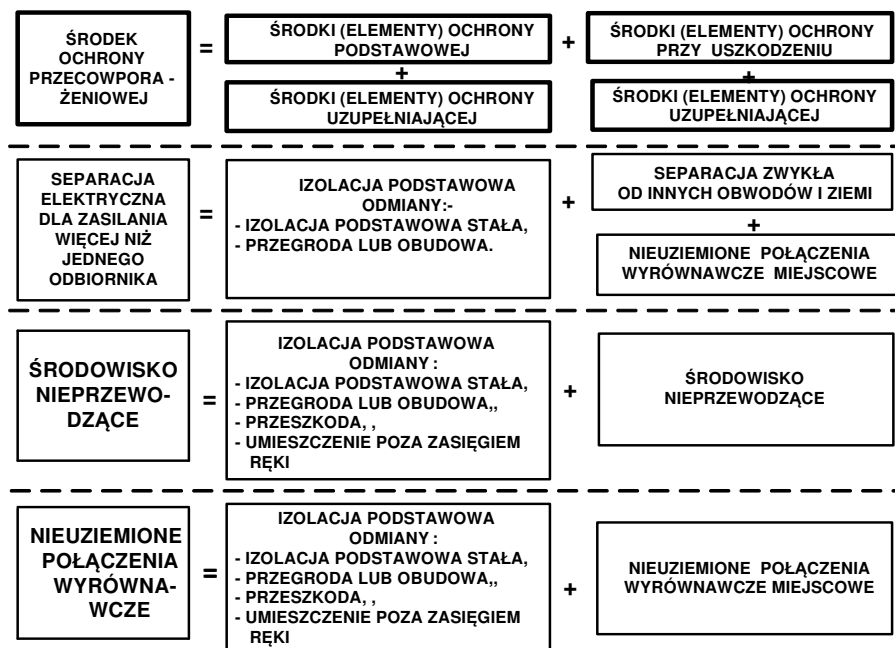
- odpowiedniej kombinacji środka do ochrony podstawowej i niezależnego środka do ochrony przy uszkodzeniu, lub
- ochrony wzmocnionej zapewniającej zarówno ochronę podstawową jak i ochronę przy uszkodzeniu

W każdej części instalacji powinien być zastosowany jeden lub więcej środków ochrony. Przy wyborze środka ochrony należy brać pod uwagę możliwość jego zastosowania w

istniejących warunkach środowiskowych. Dla specjalnych instalacji lub lokalizacji powinny być stosowane szczególne środki ochrony zgodnie z częścią 7 HD 60364 lub HD 384. Zakres zastosowań poszczególnych środków ochrony i ich elementów składowych przedstawiono na rysunku 10.1 i 10.2.



Rys. 10.1. Środki ochrony, które mogą być stosowane w instalacjach ogólnodostępnych i o ograniczonym dostępie, bez względu na kwalifikacje osób eksploatujących instalacje z wyjątkiem sytuacji, w których są zastosowane środki ochrony podstawowej zapisanych na szarym tle (środki te mogą być stosowane, gdy instalację eksploatują osoby wykwalifikowane, poinstruowane lub nadzorowane przez nie osoby postronne)



Rys. 10.2. Środki ochrony przeciwporażeniowej, które mogą być stosowane tylko w instalacjach eksploatowanych przez osoby wykwalifikowane lub poinstruowane

Norma PN-HD 60364-4-41 dopuszcza do powszechnego stosowania (z niżej wymienionymi ograniczeniami) następujące środki ochrony:

- 1) samoczynne wyłączanie zasilania,
- 2) izolacje podwójną lub wzmocnioną,
- 3) separację elektryczną (ochronną) dla zasilania jednego odbiornika,
- 4) bardzo niskie napięcie SELV lub PELV.

Ograniczenia: Środki (elementy)ochrony podstawowej, które opisane są w załączniku B normy - czyli przeszkody lub umieszczenie poza zasięgiem rąk, mogą być stosowane jedynie w instalacjach dostępnych dla:

- osób wykwalifikowanych lub poinstruowanych, lub
- osób znajdujących się pod nadzorem osób wykwalifikowanych lub poinstruowanych.

Norma PN-HD 60364-4-41 dopuszcza do stosowania w ograniczonym zakresie następujące środki ochrony (wymienione w załączniku C):

- 5) środowisko nieprzewodzące,
- 6) nieuziemione połączenia wyrównawcze,
- 7) separacja elektryczna (ochronna) dla zasilania więcej niż jednego odbiornika.

Przeznaczone są one do stosowania w instalacjach nadzorowanych przez osoby wykwalifikowane lub poinstruowane, w których nie mogą być wykonane nieautoryzowane zmiany.

Jeżeli środki ochrony przeciwporażeniowej nie mogą być skuteczne, powinny być zastosowane odpowiednio dobrane **środki uzupełniające** zapewniające wraz ze środkami ochrony przeciwporażeniowej uzyskanie wymaganego stopienia bezpieczeństwa.

Dopuszcza się **pominięcie środków ochrony przy uszkodzeniu** przy rozpatrywaniu zagrożenia porażeniowego przy następujących przewodzących częściach:

- metalowych wspornikach izolatorów linii napowietrznych, które są przymocowane do budynków i są umieszczone poza zasięgiem ręki,
- słupów betonowych zbrojonych linii napowietrznych, w których stalowe zbrojenie słupów nie jest dostępne,

- części przewodzących dostępnych, których wymiary są niewielkie (np. 50 x 50 mm) lub nie mogą być chwycone ręką lub dotykane ich jest mało prawdopodobne, a przyłączenie przewodu ochronnego jest trudne lub niemożliwe,
- metalowych rur lub innych metalowych osłon urządzeń chronionych izolacją podwójną lub wzmocnioną.

10.4. Wymagania dla układów TN i TT stawiane ochronie przez samoczynne wyłączenie zasilania

Środek ochrony - samoczynne wyłączenie zasilania powinien, według normy PN-HD 60364-4-41, spełniać wymagania stawiane:

- ochronie podstawowej zapewnianej przez izolację podstawową części czynnych albo przez zastosowanie obudowy lub ogrodzenia (przegrody).
- ochronie przy uszkodzeniu zapewnionej przez połączenia ekwipotencjalne i samoczynne wyłączenie zasilania w przypadku uszkodzenia.

Jako środek uzupełniający może być stosowany wyłącznik różnicowoprądowy wysokoczuły ($I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$). Wyłącznik taki jest uzupełnieniem ochrony podstawowej oraz ochrony przy uszkodzeniu.

Uwaga 1: W obwodach z ochroną przez samoczynne wyłączenie zasilania mogą być stosowane także urządzenia (odbiorniki) II klasy ochronności.

Uwaga 2: Monitory różnicowoprądowe (RCM) nie są urządzeniami ochronnymi, lecz mogą być stosowane do monitorowania prądów różnicowych w instalacjach elektrycznych. RCM na drodze optycznej lub/i akustycznej sygnalizuje stan przekroczenia wartości prądu różnicowego.

Ochrona podstawowa wchodząca w skład ochrony przeciwporażeniowej przez samoczynne wyłączenie zasilania powinna być zapewniona przez zastosowanie izolacji podstawowej stałej lub gazowej, przy czym z izolacją gazową należy zawsze zastosować obudowę lub ogrodzenie (przeszkodę).

Wyjątek stanowi opisane w rozdziale 411.2 normy PN-HD 60364-4-41 dopuszczenie w ochronie przez samoczynne wyłączenie zasilania zastosowanie środków ochrony podstawowej w postaci **przeszkód lub przez umieszczenie poza zasięgiem ręki** tylko pod warunkiem, że osoby postronne będą kontrolowane lub nadzorowane przez osoby wykwalifikowane lub poinstruowane.

Ochrona przy uszkodzeniu powinna polegać na zastosowaniu:

1. **uziemia** ochronnego spełniającego wymagania zawarte w rozdziałach 411.4 do 411.6 omawianej normy (dotyczących układów TN, TT i IT) oraz normy PN-HD 60364-5-54,
2. **połączeń wyrównawczych ochronnych** spełniających wymagania p. 411.3.1.2 oraz normy PN-HD 60364-5-54,
3. **samoczynnego wyłączenia zasilania** spełniające wymagania podrozdziału 411.3.2 normy,
4. **wysokoczułego wyłącznika różnicowoprądowego** dla ochrony uzupełniającej (jeśli jest ona potrzebna).

Części przewodzące dostępne powinny być połączone z uziemionym przewodem ochronnym uziemionym w sposób odpowiedni dla rozpatrywanego układu sieciowego.

W układzie TN wymagania dotyczące uziemień nie uległy zmianie. Tak jak dotychczas zwraca się uwagę, że skuteczność uziemienia instalacji TN zależy od pewnych połączeń przewodów PEN lub PE z ziemią. Tam gdzie uziemienie jest zapewnione z sieci publicznej, to spełnienie koniecznych warunków jest obowiązkiem operatora sieci zasilającej. Przewód ochronno-neutralny PEN powinien być połączony z ziemią w wielu miejscach, aby

minimalizować ryzyko powstania przerwy w przewodzie PEN oraz zapewnić spełnienie warunku:

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50 \text{ V}}{U_0 - 50 \text{ V}},$$

w którym:

R_B – jest rezystancją (w omach) wszystkich uziomów sieci połączonych równolegle (tzw. wypadkowa rezystancja uziemienia sieci),

R_E – jest minimalną rezystancją styku z ziemią (w omach) części przewodzących obcych niepołączonych z przewodem ochronnym, przez które może nastąpić zwarcie między przewodem liniowym (fazowym) i ziemią.

W każdym budynku należy wykonać główny zacisk uziemiający (główną szynę uziemiającą), do którego powinny być połączone przewodem ochronnym części przewodzące dostępne instalacji. Główny zacisk uziemiający powinien być metalicznie połączony z uziemionym punktem układu zasilania.

Ochronne połączenia wyrównawcze powinny w każdym budynku łączyć ze sobą główny zacisk uziemiający oraz:

- metalowe rury zasilające instalacje wewnętrzne budynku (np. gazu lub/i wody)
- konstrukcyjne obce części przewodzące, jeżeli są dostępne w normalnym użytkowaniu, metalowe instalacje centralnego ogrzewania i klimatyzacji,
- metalowe wzmocnienia konstrukcji z betonu zbrojonego, gdy zbrojenie jest dostępne i niezawodnie połączone między sobą.

Tam, gdzie części przewodzące obce są wprowadzone z zewnątrz, ochronne połączenia wyrównawcze powinny być wykonane możliwie jak najbliżej miejsca wprowadzenia.

Wymagania dotyczące uziemień ochronnych i połączeń wyrównawczych ochronnych są w podobne do zawartych w aktualnych normach PN-IEC 60364-4-41 i PN-IEC 60364-5-54 – obydwie te normy zostały powołane jako normy datowane w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych (...). Należy jednak zauważyć, że w normie PN-HD 60364-4-41 powołano się na nowe wymagania zawarte w HD 60364-5-54. Wymagania te zostaną dokładniej przedstawione w kolejnym referacie.

W przypadku powstania w obwodzie zwarcia o pomijalnej impedancji pomiędzy przewodem liniowym (fazowym) a częścią przewodzącą dostępną lub przewodem ochronnym powinno samoczynnie przerwać zasilanie przewodu liniowego lub urządzenia w odpowiednim czasie zapewniającym, że ewentualny prąd rażeniowy nie spowoduje niedopuszczalnych skutków patofizjologicznych.

W przedstawianej normie zmieniono dotychczasowy sposób ustalania wymaganych, maksymalnych czasów wyłączenia.

Maksymalne czasy wyłączenia zasilania w przypadku pojedynczego uszkodzenia w układach TN, TT zgodnie z nową normą PN-HD 60364-4-41 mają różne wartości dla:

- końcowych obwodów odbiorczych typu TN i TT, w których prądy nie mogą przekraczać 32 A,
- obwodów odbiorczych typu TN i obwodów odbiorczych typu TT nie wymienionych w p.1),
- obwodów rozdzielczych typu TN i obwodów rozdzielczych typu TT.

Maksymalne czasy wyłączenia zasilania końcowych obwodów odbiorczych o układzie TN i TT, w których prądy nie mogą przekraczać 32 A zestawiono w tablicy 10.1.

W obwodach rozdzielczych i w końcowych obwodach odbiorczych o prądzie przekraczającym 32 A. dopuszcza się samoczynne wyłączenie zasilania:

- w układach TN w czasie nieprzekraczającym 5 s

- w układach TT w czasie nieprzekraczającym 1 s.

Uwaga 1: Dłuższe czasy wyłączenia od podanych powyżej mogą być dopuszczone w sieciach rozdzielczych oraz w elektrowniach i w sieciach przesyłowych.

Uwaga 2: Krótsze czasy wyłączenia od podanych powyżej mogą być wymagane dla specjalnych instalacji lub lokalizacji stosownie do HD 60364 część 7 lub HD 384.

Uwaga 3: Dla układu IT samoczynne wyłączenie zasilania nie jest zwykle wymagane po pojawieniu się pierwszego zwarcia (p.411.6.1). Wymagania dotyczące wyłączenia po pierwszym zwarcu podano w p. 411.6.4.

Tablica 10.1. Maksymalne czasy samoczynnego wyłączenia zasilania w obwodach odbiorczych o układach TN i TT i o prądzie nieprzekraczającym 32 A

Układ	Maksymalne czasy (s) przy napięciu							
	50 V ≤ U ₀ ≤ 120 V		120 V < U ₀ ≤ 230 V		230 V < U ₀ ≤ 400 V		U ₀ > 400 V	
	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.
TN	0,8	Uwaga 1	0,4	5,0	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	Uwaga 1	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1
Jeżeli w układzie TT wyłączenie jest uzyskiwane dzięki zabezpieczeniu nadprądowemu, a ochronne połączenie wyrównawcze jest przyłączone do części przewodzących obcych znajdujących się w instalacji, to może być stosowany czas wyłączania podany dla układu TN								
<u>Uwaga 1:</u> Samoczynne wyłączanie zasilania może być wymagane z innych powodów niż ochrona przeciwporażeniowa.								
<u>Uwaga 2:</u> Przy stosowaniu urządzenia ochronnego w postaci wyłącznika różnicowoprądowego należy uwzględnić: uwagę do 411.4.4, uwagę 4 do 411.5.3 i uwagę do 411.6.4								

W układach o napięciu znamionowym wyższym od 50 V a.c. lub 120 V a.c. samoczynne wyłączenie zasilania w wyżej podanych czasach nie jest wymagane, jeżeli przy wystąpieniu zwarcia z przewodem ochronnym lub ziemią, napięcie zasilające jest zredukowane w czasie nie większym od 5 s do 50 V a.c. lub 120 V a.c. lub mniejszego. W takich przypadkach należy sprawdzić czy odłączenie zasilania nie jest wymagane z innych powodów niż ochrona przeciwporażeniowa.

Jeżeli nie można zrealizować samoczynnego wyłączania zasilania w wymaganych czasach powinny być zastosowane dodatkowe ochronne połączenia wyrównawcze spełniające wymagania rozdziału 415.2 rozpatrywanej normy (uzupełniająca ochrona przez zastosowanie wysokoczułego wyłącznika różnicowoprądowego lub dodatkowego ochronnego połączenia wyrównawczego).

W układach a.c. uzupełniająca ochrona w postaci wysokoczułego wyłącznika różnicowoprądowego powinna być zastosowana zgodnie z p.415.1 dla zasilania:

- gniazd wtyczkowych o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 20 A, które są przewidziane do powszechnego użytku i do użytkowania przez osoby postronne,
- urządzeń ruchomych o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 32 A użytkowanych na zewnątrz pomieszczeń.

Uwaga: Wyjątek można zrobić dla:

- gniazd wtyczkowych obsługiwanych pod nadzorem osób wykwalifikowanych lub poinstruowanych, np. w niektórych obiektach handlowych lub przemysłowych, lub
- specjalnego gniazda wtyczkowego przewidzianego do przyłączenia szczególnego elementu urządzenia.

Szczegółowe postanowienia dotyczące zasad stosowania ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w układzie TN w nowej normie nie uległy istotnej zmianie. Dalej, tak jak dotychczas, skuteczność działania urządzenia wyłączającego określona jest wzorem:

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0$$

Zmieniono jedynie wymaganie, dotyczące sposobu ustalania wartości prądu I_a , gdy urządzeniem wyłączającym jest wyłącznik różnicowoprądowy. Wartość tego prądu powinna być równa $5 I_{\Delta n}$ (uwaga do p.4.1.4) Spełnienie tego wymagania w obwodach TN-S nie stanowi żadnej trudności.

Zmienione zostały natomiast szczegółowe postanowienia dotyczące stosowania ochrony przez samoczynne wyłączenia zasilania w układzie TT. Wymagania uzależniono od rodzaju stosowanego urządzenia wyłączającego.

A. Przy stosowaniu urządzenia wyłączającego różnicowoprądowego

W normie zapisano, że w systemie TT dla zapewnienia ochrony przy uszkodzeniu powinien być stosowany jako urządzenie wyłączające wyłącznik różnicowoprądowy (urządzenie różnicowoprądowe). **Przy stosowaniu wyłącznika różnicowoprądowego** powinny być spełnione następujące warunki:

- czas wyłączenia nie może przekraczać odpowiednio 1 s lub czasu podanego w tablicy 2,
- skuteczność działania ochrony określa wzór:

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq U_L ,$$

w którym:

R_A – jest sumą rezystancji uziomu i przewodu uziemiającego łączącego uziom z częścią przewodzącą dostępną,

$I_{\Delta n}$ – jest znamionowym różnicowym prądem zadziałania wyłącznika.

Uwagi:

1. Ochrona przy uszkodzeniu jest zapewniona również w przypadku, gdy impedancja w miejscu uszkodzenia nie jest pomijalna.
2. Przy wyborze typu wyłącznika konieczne jest uwzględnienie wymagań punktu 535.3 normy IEC 60364-5-53.
3. Gdy nie jest znana wartość R_A można ją zastąpić wartością Z_s .
4. Czas wyłączenia określony w tablicy 41.1 normy (tablicy 2 niniejszego referatu) powinien być określony dla spodziewanej wartości prądu uszkodzenia i zwykle określany jest dla prądu równego $5 \cdot I_{\Delta n}$.

B. Przy stosowaniu urządzenia wyłączającego nadprądowego

Urządzenia wyłączające nadprądowe mogą być stosowane tylko wówczas, gdy można zapewnić bardzo małą impedancję pętli zwarcia. **Odmienne niż dotychczas, przy stosowaniu urządzeń wyłączających nadprądowych** powinny być spełnione następujące warunki:

- czas wyłączenia nie może przekraczać odpowiednio 1 s lub czasu podanego w tablicy 2 referatu,
- skuteczność działania ochrony określa wzór:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0 ,$$

w którym:

Z_s – jest impedancją w Ω obwodu zwarciovego składającą się z impedancji:

- źródła,
- przewodu liniowego (fazowego) do miejsca (punktu) zwarcia,
- przewodu ochronnego przyłączonego do części przewodzącej dostępnej,
- przewodu uziemiającego,
- uziomu przewodu uziemiającego,
- uziomu (punktu neutralnego) źródła,

I_a – jest prądem powodującym zadziałanie urządzenia nadprądowego w wymaganym czasie,
 U_0 – jest napięciem znamionowym przewodu liniowego względem ziemi.

10.5. Inne nowe wymagania zawarte w normie PN-HD 60364-4-41:2009

Bardzo niskie napięcie funkcjonalne FELV

W normie PN-IEC 60364-4-41 wymagania dotyczące obwodów FELV zawarto w punkcie 411.3 rozdziału 411 zatytułowanego „Równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim”. Prowadziło to do często popełnianego błędu polegającego na uznaniu, że samo obniżenie napięcia zasilającego w wystarczającym stopniu zapewnia ochronę, gdyż jest przecież ochroną przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim. W nowej normie wymagania dotyczące obwodów FELV zawarte są w punkcie 411.7 rozdziału 411 zatytułowanego „Środek ochrony: samoczynne wyłączenie zasilania”. Już sama zmiana miejsca usytuowania tych wymagań zwraca uwagę na fakt, że z zastosowaniem funkcjonalnego obniżenia napięcia związana jest konieczność zastosowania ochrony przy uszkodzeniu przez samoczynne wyłączenie zasilania (p.411.7.3) lub innego środka ochrony, takiego samego jak w obwodzie wejściowym (p.411.7.4). Inne wymagania zawarte w punkcie 411.7 nowej normy są podobne do wymagań zawartych w dotychczasowej normie. Pokreślono, że układ FELV jest układem o napięciu nominalnym nieprzekraczającym 50 V a.c. lub 120 V d.c., lecz nie są w nim spełnione wymagania stawiane układom SELV lub PELV z powodu np. zastosowania w nim transformatorów, przekładników styczników itp. niewystarczająco izolowanych od obwodów wyższego napięcia. Dlatego dla zapewnienia ochrony podstawowej i ochrony przy uszkodzeniu muszą być dodatkowo zastosowane opisane w normie odpowiednie środki ochrony.

Środek ochrony: podwójna lub wzmocniona izolacja

W normie PN-HD 60364-4-41 zamiast nazwy „ochrona polegająca na zastosowaniu urządzenia II klasy ochronności lub o izolacji równoważnej” wprowadzono nową nazwę: „środek ochrony: podwójna lub wzmocniona izolacja” (p.412). Wymagania stawiane temu środkowi ochrony są podobne do wymagań zawartych w normie PN-IEC 60364-4-41.

Wymagania dotyczące obwodów SELV i PELV

W nowej normie nie ma już środka ochrony „równoczesna ochrona przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim”. Wymagania dotyczące obwodów SELV i PELV opisano w rozdziale 414 zatytułowanym „Środek ochrony: bardzo niskie napięcie zapewnione przez SELV i PELV”. Przedstawiono w nim wymagania dotyczące:

- ochrony podstawowej i ochrony przy uszkodzeniu, jakie powinny być stosowane w tych obwodach,
- źródeł zasilania jakie mogą być stosowane dla obwodów SELV i PELV,
- obwodów SELV i PELV.

Wymagania zawarte w tych punktach są zbliżone do wymagań zawartych w dotychczasowej normie.

Ochrona uzupełniająca

W normie PN-HD 60364-4-41 wprowadzono nowy rozdział 415 zatytułowany ochrona uzupełniająca. Według zapisów tego rozdziału ochrona uzupełniająca polega na zastosowaniu:

- urządzeń ochronnych różnicowoprądowych (415.1), lub
- dodatkowych ochronnych połączeń wyrównawczych (415.2).

Zastosowanie w układach prądu przemiennego wysokoczułych wyłączników różnicowoprądowych o prądzie różnicowym nieprzekraczającym 30 mA jest ochroną uzupełniającą w przypadku uszkodzenia zarówno środki ochrony podstawowej jak i środki ochrony przy uszkodzeniu. Zastosowanie ich nie jest przez normę uważane za wystarczający środek ochrony i wymaga konieczność zastosowania również jednego ze środków ochrony opisanych w rozdziałach od 411 do 414.

Dodatkowe ochronne połączenie wyrównawcze uważa się za uzupełnienie ochrony przy uszkodzeniu. Może ono obejmować całą instalację lub jej część, albo elementy aparatury lub lokalizację. Połączenie to powinno obejmować wszystkie równocześnie dostępne części przewodzące urządzenia stałego i części przewodzące obce łącznie (jeżeli jest to możliwe) z metalowym zbrojeniem konstrukcji betonowych. Układ połączeń wyrównawczych powinien być połączony z przewodami ochronnymi wszystkich urządzeń łącznie z gniazdami wtyczkowymi.

Uwaga 1: Należy zauważyć, że w załączniku C opisującym wymagania stawiane ochronie przy uszkodzeniu przez zastosowanie nieprzewodzącego pomieszczenia zamieszczono informację (p. **C.1.4 a**), że dwie części uważa się za równocześnie niedostępne, jeżeli odległość między nimi jest nie mniejsza niż 2,5 m (dotychczas 2 m).

Uwaga 2: W punkcie **411.3.2.6** dotyczącym ochrony przez samoczynne wyłączenie w przypadku zwarcia zawarto zapis, że jeżeli samoczynne wyłączenie nie może być uzyskane w czasie uznanym za właściwy, to należy zastosować połączenie wyrównawcze dodatkowe zgodnie z p. 415.2

Skuteczność dodatkowego połączenia wyrównawczego określają następujące warunki:

- w układach prądu przemiennego - $R \leq \frac{50 \text{ V}}{I_a}$
- w układach prądu stałego - $R \leq \frac{120 \text{ V}}{I_a}$

11. UZIEMIENIA I POŁĄCZENIA WYRÓWNAWCZE W INSTALACJACH NISKIEGO NAPIĘCIA

11.1. Ogólne zadania uziemień w sieciach rozdzielczych

Uziemienia w sieciach i instalacjach elektroenergetycznych niskiego napięcia są wykonywane głównie dla zapewnienia właściwej pracy obwodów elektrycznych (uziemienia robocze) oraz są ważnymi elementami ochrony przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania (uziemienia ochronne).

Uziemienia punktu neutralnego i przewodów PE (PEN) wykonywane w sieciach typu TN oraz uziemienia punktów neutralnych w sieciach typu TT spełniają obie funkcje. Są to więc uziemienia **ochronno-robocze**. Oznacza się je symbolem **R_B**. Uziemienia zacisków ochronnych urządzeń elektrycznych zasilanych z sieci typu TT, oznaczane symbolem **R_A**, pełnią rolę **uziemień ochronnych**.

Należy przy tym zwrócić uwagę, że w Polsce tradycyjnie uziemienia w układach TN nazywano uziemieniami roboczymi zaś w układach TT i IT – uziemieniami ochronnymi. Termin „uziemienie ochronne” oznaczał równocześnie nazwę środka ochrony z wykorzystaniem uziomu jako elementu obwodu uszkodzeniowego. Dziś ta ostatnia nazwa środka ochrony nie jest oficjalnie stosowana. Dlatego wszystkie uziemienia wykorzystywane dla celów ochrony przeciwporażeniowej można nazywać „uziemieniami ochronnymi” (mimo że w rzeczywistości niektóre z nich są uziemieniami ochronno – roboczymi). Za stosowaniem takiej nazwy przemawia min. to, że międzynarodowe organizacje normalizacyjne (IEC, CENELEC) nazywają tego rodzaju uziemienia „uziemieniami ochronnymi” a definicja uziemień roboczych nie uwzględnia ich roli w ochronie przeciwporażeniowej.

Bez prawidłowego wykonania w sieciach TN uziemień **R_B** oraz w sieciach TT uziemień **R_B** i **R_A**, ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania nie można uznać za skuteczną nawet wtedy, gdy nie mają one wpływu na czas wyłączania obwodu, w którym powstało zagrożenie.

W ochronie przez samoczynne wyłączanie zasilania zadaniem uziemień jest:

- 1) **przeniesienie potencjału ziemi na przewody ochronne** i przyłączone do nich części przewodzące,
- 2) **stworzenie połączenia między częściami przewodzącymi dostępnymi a ziemią** dla wykorzystania jej jako przewodu powrotnego dla prądu uszkodzeniowego.

Przy realizacji tylko pierwszego zadania uziom nie jest w zasadzie obciążony prądem zwarciovym i nie ma wpływu na czas samoczynnego wyłączania zasilania. W takich przypadkach nie jest potrzebne wymaganie niskiej rezystancji uziemienia. Przy realizacji drugiego zadania konieczne jest odpowiednie ograniczenie rezystancji uziemienia od której zależy czas samoczynnego wyłączania zasilania i napięcia dotykowe.

11.2. Zadania uziemień ochronnych w sieciach TN

W sieciach niskiego napięcia pracujących w układzie TN uziemienia (oznaczane **R_B**) punktu neutralnego i przewodów PEN (PE) odgrywają ważną rolę w ochronie przed dotykiem pośrednim. Spełniają one następujące zadania:

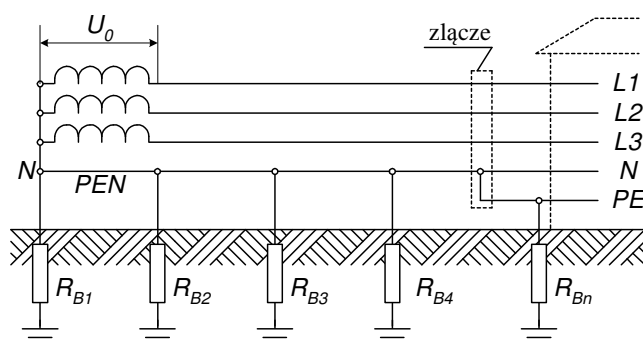
- 1) Ograniczają napięcia, które mogą być przeniesione z urządzeń wysokiego napięcia do obwodów niskiego napięcia.
- 2) Zapewniają, w normalnych warunkach pracy sieci niskiego napięcia, utrzymywanie się potencjału ziemi na przewodach PEN (PE) i połączonych z nimi częściach przewodzących dostępnych.
- 3) Zapobiegają długotrwałemu utrzymywaniu się asymetrii napięć w sieci podczas zwarć doziemnych z pominięciem przewodu PEN (PE).

- 4) Umożliwiają wyłączenie zasilania podczas zwarc doziemnych, gdy zwarcie doziemne wystąpi na uszkodzonym przewodzie ochronnym za miejscem jego przerwania.
- 5) Ograniczają napięcie pojawiające się podczas zwarc doziemnych na przerwanym przewodzie ochronnym i połączonych z nim częściach przewodzących.
- 6) Ograniczają napięcie na przewodach PEN (PE) wywołane zwarciami doziemnymi.

W dokumentach IEC i CENELEC zakłada się, że wymagania stawiane przewodom ochronnym powinny skutecznie zapobiegać zdarzeniom polegającym na przerwaniu tych przewodów bez równoczesnego przerwania przewodów fazowych. Dlatego nie uwzględnia się w nich zadań 4) i 5) przy wymiarowaniu uziemień. W Polsce takie zdarzenia są spotykane i dlatego warto zwrócić uwagę na rolę uziemień przewodu ochronnego w takich przypadkach.

11.3. Rola uziemień w utrzymaniu potencjału ziemi na przewodach PEN (PE) i połączonych z nimi częściach przewodzących dostępnych

W sieciach TN większość części przewodzących dostępnych jest wzajemnie połączona przewodem PEN (PE). Dzięki temu w normalnych warunkach pracy sieci przewody te i połączone z nimi części mają jednakowy potencjał. Nie koniecznie jest to ten sam potencjał, który posiadają części obce. W takich przypadkach realne jest zagrożenie porażeniowe. Można je zlikwidować łącząc wszystkie części obce między sobą przewodami wyrównawczymi, a następnie łącząc je z przewodami PEN (PE). Ponieważ wiele części obcych ma naturalne połączenie z ziemią, to oczywistym jest dążenie do nadania potencjału ziemi również przewodom PEN (PE). Dlatego przewody te łączy się z ziemią tak często jak jest to możliwe. Tworzy się wtedy układ uziemień ochronnych jak to pokazano na rys. 11.1.



Rys. 11.1. Uziemienia ochronne w sieci TN-C-S

Bardzo ważną rolę w ekwipotencjalizacji części jednocześnie dostępnych pełni uziemienie ochronne przewodu PE instalacji budynku. Jest ono ostatnim uziemieniem przewodu PE. To ono w głównej mierze określa potencjał strefy ekwipotencjalnej w budynku. Dlatego uziemienia te powinny być wykonane w miejscu wprowadzenia przewodu PEN (PE) do budynku, a nie z dala od niego. Prawidłowa jest więc sytuacja przedstawiona na rysunku 1, na którym złącze instalacji i miejsce rozdzielania przewodu PEN na PE i N znajduje się poza budynkiem, a przewód PE jest uziemiony w bezpośredniej bliskości budynku.

Znaczenie uziemienia przewodu PE (PEN) w miejscu wprowadzenia go do budynku nie jest doceniane przez niektóre Zakłady Energetyczne. Wydając Techniczne Warunki Zasilania nakazują one wykonanie uziemienia przewodu PE w złączu, nawet jeżeli jest ono zlokalizowane na granicy posesji. W tego rodzaju Warunkach niektóre Zakłady Energetyczne stawiają wymaganie, aby uziemienie przewodu PE w złączu miało nie więcej niż $5\ \Omega$ a nawet $1\ \Omega$. Są to wymagania trudne do spełnienia i nieuzasadnione. Wystarczy, aby uziemienie to miało nie więcej niż $30\ \Omega$ (wartość przyjęta tradycyjnie).

11.4. Rola uziemień ochronnych w ograniczaniu asymetrii napięć wywołanych zwarciami doziemnymi z pominięciem przewodu PEN (PE)

Na rysunku 11.2 przedstawiono wykres wskazowy napięć w przypadku, gdy w sieci TN wystąpi zwarcie doziemne z pominięciem przewodu PEN (PE). Taka sytuacja jest najbardziej prawdopodobna w sieci napowietrznej. Napięcie fazy doziemionej maleje, zaś napięcia fazowe pozostałych faz rosną w stosunku do wartości znamionowych U_0 . Zmiany te są zależne od wypadkowej rezystancji uziemień ochronnych sieci R_B i rezystancji przejścia prądu do ziemi w miejscu doziemienia R_E . Napięcie utrzymujące się na przewodzie PEN (PE) przez czas przepływu prądu uszkodzenia doziemnego I_d można obliczyć z zależności:

$$U = I_d \cdot R_B = \frac{U_0}{R_E + R_B} \cdot R_B$$

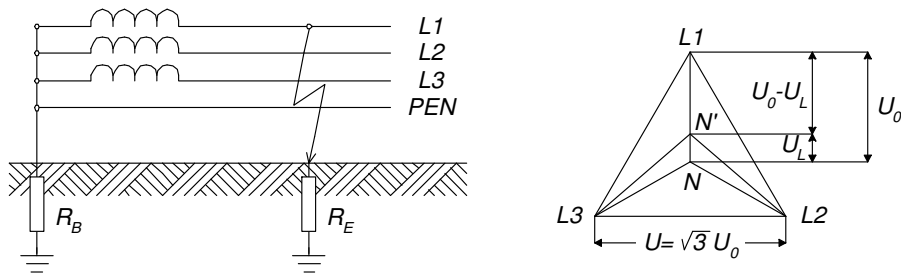
Jeżeli napięcie to ma być ograniczone do największej dopuszczalnej długotrwale wartości napięcia dotykowego U_L , to musi być spełniony warunek wyprowadzony z powyższej zależności, zamieszczony w PN-IEC 60364-4-41:

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{U_L}{U_0 - U_L}$$

Dla $U_0 = 230 \text{ V}$ i $U_L = 50 \text{ V}$ otrzymuje się:

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{230 - 50} = 0,278$$

Wartość R_E jest zwykle trudna do ustalenia. W IEC przyjęto, że R_E nie przekracza 10Ω a wtedy $R_B \leq 2,78 \Omega$ (dla dawniej przyjmowanych w Polsce wartości $U_L = 65 \text{ V}$ i $R_E = 12 \Omega$: $R_B \leq 5 \Omega$).



Rys. 11.2. Wykres wskazowy napięć przy zwarcu doziemnym w sieci TN z pominięciem przewodu PEN

Jeżeli przyjąć $R_B = 2,78 \Omega$ to przy doziemieniu jednej fazy z pominięciem przewodu PEN napięcia faz nieuszkodzonych osiągną wartości 260 V . Oznacza to, że wypadkowa rezystancja uziemień roboczych w sieci TN nie przekraczająca praktycznie 3Ω zapewnia, iż powstające przepięcia nie będą groźne dla izolacji urządzeń elektrycznych, jeżeli będzie się ono utrzymywało przez czas dłuższy od dopuszczalnego.

11.5. Rola uziemień w wyłączaniu zasilania podczas zwarcia do uszkodzonego przewodu PEN (PE)

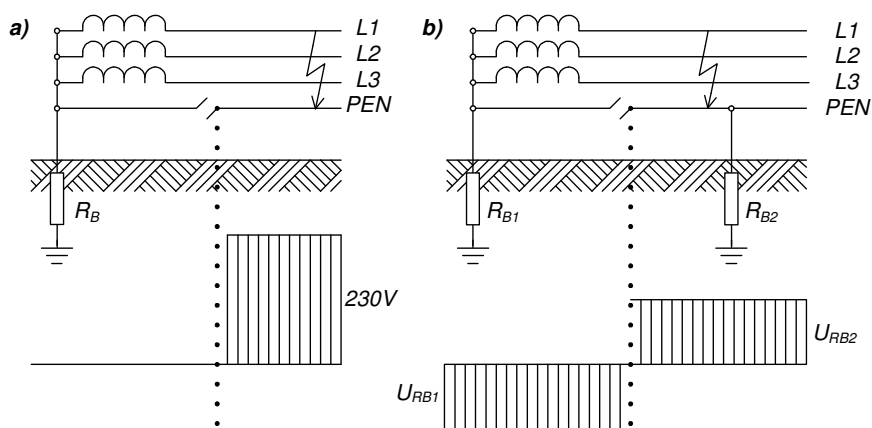
W sytuacji przerwania ciągłości przewodu PEN (PE), którym zwykle prąd I_K powraca z miejsca uszkodzenia do źródła prądu, szansą na zadziałanie zabezpieczeń jest droga

powrotna przez ziemię. Wprawdzie droga ta ma większą rezystancję od przewodu PEN (PE) i czas wyłączenia może być dłuższy od dopuszczalnego, ale daje ona szansę wyłączenia uszkodzonego obwodu. Wyłączenie w czasie dłuższym od dopuszczalnego jest rozwiązaniem na pewno lepszym od długotrwałego utrzymywania się zakłócenia. Dlatego ważne jest, aby przewód PEN (PE) był uziemiany wszędzie tam gdzie jest to możliwe bez większych nakładów.

Prawdopodobieństwo przerwania przewodu PEN (PE) linii kablowej jest małe i częste uziemianie tego rodzaju przewodów nie jest potrzebne.

11.6. Rola uziemień w ograniczaniu napięć na przerwanym przewodzie PEN (PE) wywołanych zwarcie do tego przewodu

Na rysunku 11.3 przedstawiono sytuacje, w których przewód PEN został uszkodzony (przerwany). Sieć z rys. 11.3 a) ma tylko uziemienie połączone z przewodem PEN przed miejscem uszkodzenia. Brak uziemienia przewodu PEN za miejscem jego uszkodzenia może powodować długotrwałe utrzymywanie się na tej części przewodu (i na podłączonych do nich częściach przewodzących dostępnych) pełnego napięcia U_0 .

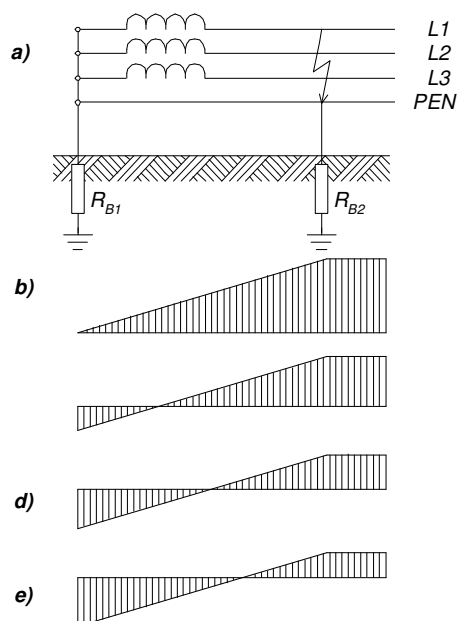


Rys. 11.3. Napięcie na uszkodzonym przewodzie PEN gdy zwarcie jednofazowe powstanie za miejscem uszkodzenia: a) gdy przewód PEN za miejscem uszkodzenia nie jest uziemiony, b) gdy przewód PEN za miejscem uszkodzenia jest uziemiony.

W sieci przedstawionej na rys. 11.3 b) przewód PEN jest uziemiony przed i za miejscem uszkodzenia. Uziemienia za miejscem uszkodzenia stwarzają nie tylko możliwość wyłączenia zasilania ale i ograniczają wartość napięcia na tej części przewodu. Wartość napięcia zależy od stosunku rezystancji uziemień obu części przewodu PE oraz rezystancji przewodu fazowego i dodatkowych rezystancji, które mogą wystąpić w miejscu zwarcia.

11.7. Rola uziemień w ograniczaniu napięć na przewodach PEN (PE) podczas zwarc

Podczas zwarc jednofazowych na przewodzie PEN (PE) pojawia się napięcie, którego wartość jest zmienna między miejscem zwarcia i punktem neutralnym sieci i jest stała na części przewodu za miejscem zwarcia. Wartość napięcia w miejscu zwarcia oraz jego wartości między miejscem zwarcia a punktem neutralnym sieci zależy przede wszystkim od liczby uziemień ochronnych, wartości ich rezystancji, rezystancji przewodów fazowych, rezystancji przewodów PEN (PE).



Rys. 11.4. Napięcie na przewodzie PEN wywołane prądem zwarcia doziemnego: a) schemat sieci; b) rozkład napięcia przy $R_{B2} = \infty$; c) rozkład napięcia przy $R_{B2} > R_{B1}$; d) rozkład napięcia przy $R_{B2} = R_{B1}$; e) rozkład napięcia przy $R_{B2} < R_{B1}$

Na rysunku 11.4. przedstawiono wartości napięcia występującego na przewodzie PEN w zależności od stosunku dwóch uziemień ochronnych wykonanych na początku sieci i w miejscu zwarcia. Przy zastosowaniu ochrony przeciwporażeniowej przez samoczynne wyłączanie zasilania, napięcia te nie powinny stwarzać zagrożenia, jeżeli zostanie odpowiednio ograniczony czas wyłączania zasilania. Zwarcie może jednak powstać w miejscu, w którym dopuszczony jest stosunkowo długi czas wyłączania zasilania, ale powstałe w miejscu zwarcia napięcie może zostać przeniesione przewodami PEN (PE) w inne miejsca, o krótszych dopuszczalnych czasach wyłączania zasilania.

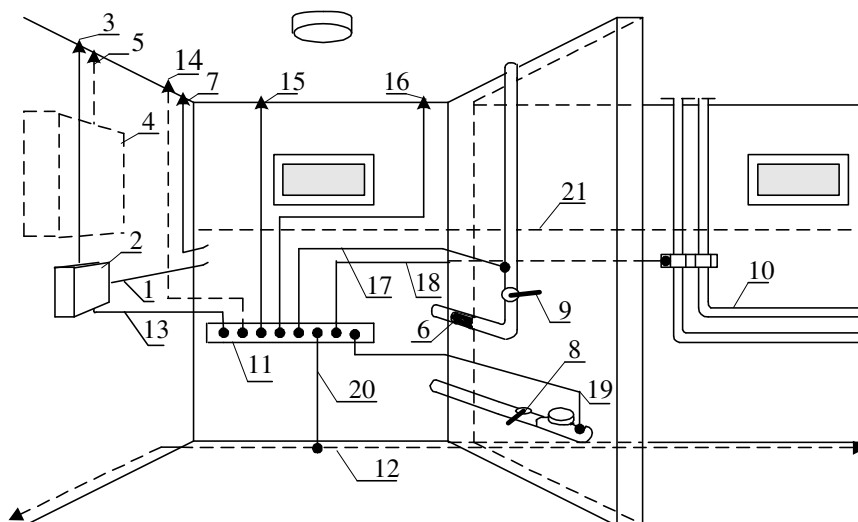
11.8. Uziemienia przewodu ochronnego PE i przewodów wyrównawczych CC w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia

W skład instalacji uziemiającej budynku wchodzi co najmniej: **uziom** (przedmiot metalowy pograżony w gruncie lub w betonie umieszczonym w gruncie) i **przewód uziemiający** łączący część uziemianą z uziomem. Niektóre instalacje uziemiające wyposaża się w **zacisk probierczy** umożliwiający odłączanie uziomu od części uziemionej dla ułatwienia pomiaru rezystancji uziemienia. W takim przypadku przewodem uziemiającym nazywa się przewód łączący zacisk probierczy z uziomem. Przewód łączący zacisk probierczy z częścią uziemianą nazywa się wtedy przewodem ochronnym PE lub przewodem wyrównawczym CC. Jeżeli z tym samym uziomem łączy się więcej niż jedną część uziemianą stosuje się **szynę uziemiającą**, do której łączy się przewody ochronne PE lub przewody wyrównawcze CC przyłączone z drugiej strony do części uziemianych oraz przewód uziemiający przyłączony z drugiej strony do uziomu. Szyna uziemiająca spełnia wtedy rolę zacisku probierczego.

W każdym budynku, w jego przyziemnej kondygnacji, w miejscu dostępnym dla kontroli, w pobliżu miejsc zasilania budynku w energię elektryczną, wodę, gaz itp. powinna być wykonana **główna szyna uziemiająca** nazywana też **główną szyną wyrównawczą**. Szyna taka jest miejscem, do którego przyłącza się wszelkie podlegające uziemieniu i

podlegające równocześnie połączeniom wyrównawczym części budynku i jego wyposażenia (rys. 11.5). Tak więc do głównej szyny uziemiającej przyłącza się:

- **przewód uziemiający** instalacji uziemiającej budynku,
- **przewód ochronny PE** łączący szynę uziemiającą z zaciskiem ochronnym PE złącza instalacji elektroenergetycznej budynku lub z zaciskiem ochronnym PE rozdzielniczy głównej budynku,
- **przewody wyrównawcze główne.**



Rys.11.5. Przykładowa instalacja uziemiająca w budownictwie ogólnym; 1 – kabel zasilający złącze instalacji elektrycznej, 2 – złącze instalacji elektrycznej, 3, 5 - przewody instalacji elektroenergetycznej, 4 – rozdzielnica główna, 6 – wstawka izolacyjna w rurze gazowej, 7 – przewód instalacji sygnalizacyjnej, 8 – zawór instalacji wodociągowej, 9 – zawór instalacji gazowej, 10 – instalacja ogrzewania wodnego budynku, 11 – główna szyna uziemiająca (wyrównawcza), 12 – sztuczny uziom fundamentowy, 13 – przewód łączący zacisk PE instalacji elektroenergetycznej z główną szyną uziemiającą, 14 – przewód ochronny PE, gdy instalacja pracuje w układzie TT, 15 – połączenie wyrównawcze instalacji sygnalizacyjnej, 16 – połączenie wyrównawcze do miejscowej (dodatkowej) szyny wyrównawczej, 17 – połączenie wyrównawcze instalacji gazowej, 18- połączenie wyrównawcze instalacji ciepłowniczej, 19 – połączenie wyrównawcze instalacji wodociągowej, 20 – przewód uziemiający, 21 – poziom terenu

Dla instalacji elektrycznych i instalacji odgromowych budynków wykonuje się zwykle wspólny uziom, przy czym instalacje elektryczne łączy się do wspólnej szyny uziemiającej, a instalacje odgromowe bezpośrednio do uziomu. Wykonanie dla różnych części uziemianych znajdujących się w budynku niezależnych instalacji uziemiających (w tym i uziomów) może stwarzać zagrożenie dla ludzi i urządzeń, ponieważ części przyłączone do niezależnych uziomów mogą w warunkach zakłóceń (podczas zwarć lub przepięć) mieć różne potencjały.

Uziomy instalacji budynku są najczęściej wykonywane w postaci **uziomów pionowych, uziomów poziomych otokowych lub sztucznych uziomów fundamentowych**. Dla celów uziemieniowych są też wykorzystywane **uziomy naturalne** (wykonane do innych celów niż uziemienia), takie jak ułożone w ziemi metalowe rury wodociągowe, metalowe konstrukcje. Uziomy naturalne mogą być stosowane pod warunkiem, że zostanie to uzgodnione z użytkownikiem. Zabronione jest wykorzystywanie dla celów uziemieniowych innych rurociągów niż wodne. Dlatego w metalowych rurociągach gazowych wprowadzanych do budynku powinny być wykonywane wstawki izolacyjne.

Wykonanie uziomu w terenach zurbanizowanych nastręcza wiele kłopotów. W dużych aglomeracjach miejskich, dla celów uziemieniowych, wykorzystywano przez wiele lat uziomy naturalne jakimi są przede wszystkim metalowe rurociągi wodne. W ostatnich latach notuje się liczne prace polegające na wymianie metalowych rur wodociągowych na rury wykonane z materiałów nieprzewodzących. Dlatego coraz częściej stosuje się w Polsce uziomy fundamentowe sztuczne. Są one tańsze i trwalsze od uziomów ułożonych bezpośrednio w gruncie.

Uziom fundamentowy sztuczny należy wykonać jako zamknięty pierścień umieszczając go w fundamentach ścian zewnętrznych budynku. W budynku o dużej powierzchni, uziom fundamentowy należy wykonać nie tylko w fundamentach ścian zewnętrznych, ale również w fundamentach ścian wewnętrznych lub w płycie fundamentowej tak, aby rozmiar oczek uziomu nie przekraczał 20x20 m. W domach o zabudowie szeregowej zaleca się, aby każdy człon zabudowy miał wykonany oddzielny uziom fundamentowy. Należy jednak pamiętać, że dodatkowe połączenia poprzeczne, jak również małe wymiary oczek uziomu fundamentowego powodują lepszy rozkład potencjału.

Beton i zaprawa murarska są środowiskami chroniącymi części metalowe przed korozją. Dlatego uziomy fundamentowe sztuczne mogą być wykonywane **ze stali bez warstw antykorozyjnych**. Stosowanie wyrobów stalowych ocynkowanych jest możliwe, ale niepotrzebnie podwyższa koszty budowy uziomu.

Zaleca się, aby do wykonania uziomów fundamentowych sztucznych stosować płaskowniki lub pręty okrągłe. Przekrój płaskownika nie powinien być mniejszy od 30 x 3,5 mm, a średnica prętów – od 10 mm.

Przewody uziemiające łączące uziom z główną szyną uziemiającą (zaciskiem probierczym) powinny być wykonane **ze stali ocynkowanej**.

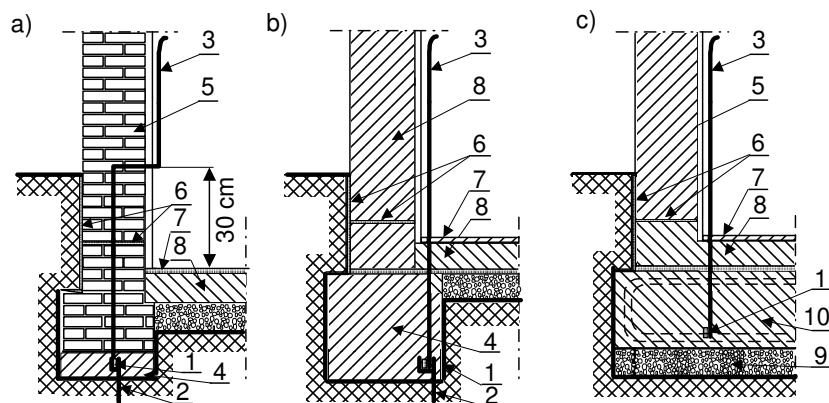
Uziom fundamentowy w fundamencie nieuzbrojonym należy umieścić tak, aby ze wszystkich stron był otoczony warstwą betonu o grubości co najmniej 5 cm. Zapewnia to dobrą ochronę stali przed korozją i prawie nieograniczoną trwałość tak wykonanego uziomu. Przy wykonywaniu uziomu z płaskownika, powinien być on ułożony „na sztorc”. **Płaskownik lub pręt należy umieszczać w specjalnych uchwytach** wbitych lub ustawionych na podłożu, zabezpieczających elementy uziomu przed przesunięciem w momencie zalewania fundamentu betonem.

Dla wykonania połączeń elementów uziomu fundamentowego, w celu odgałęzienia przewodów uziemiających, zamknięcia pierścienia uziomu, tworzenia połączeń poprzecznych dla zmniejszenia oczka uziomu, konieczne jest stosowanie specjalnych złączek. Elementy uziomów zatopionych w betonie mogą być również łączone przez spawanie lub zgrzewanie.

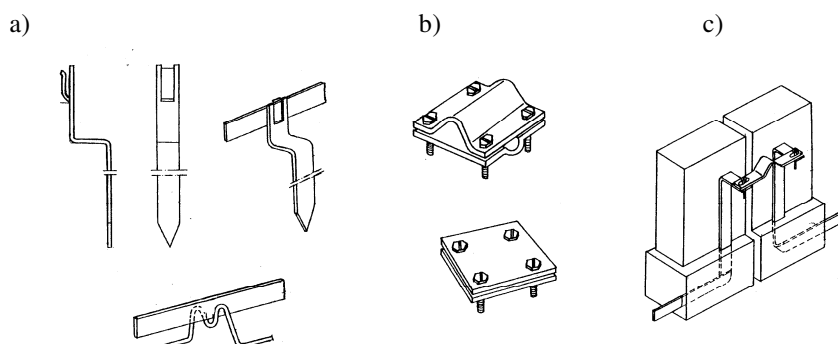
Jeżeli fundament, w którym jest układany uziom posiada szczelinę dylatacyjną, to końce uziomu dochodzącego do szczeliny należy wyprowadzić ze ściany do wnętrza budynku i połączyć je elastycznymi mostkami dylatacyjnymi. Mostek dylatacyjny powinien znajdować się w miejscu dostępnym dla kontroli. Wykonanie takiego mostka na zewnątrz budynku jest dopuszczalne tylko wtedy, gdy umieszczenie jego wewnątrz budynku napotyka na duże trudności. Wyprowadzone ze ściany (betonu) końce uziomu oraz mostek dylatacyjny należy zabezpieczyć przed korozją przez pokrycie powłokami antykorozyjnymi, np. takimi jakie się stosuje przy wprowadzeniu przewodu uziomowego do gruntu.

Uziom fundamentowy w fundamencie zbrojonym wykonuje się mocując płaskownik lub pręt drutem wiązałkowym do zbrojenia w odstępach około 2 m. Podobnie jak w fundamencie nieuzbrojonym, należy zapewnić dokładne „otulenie” uziomu warstwą betonu.

Na rysunku 11.6. przedstawiono zasadę wykonania uziomu fundamentowego w różnych rodzajach fundamentów. Przykłady stosowanych w praktyce uchwytów mocujących płaskownik uziomu w wykopie pod fundament niezbrojony, złączek oraz połączenia dylatacyjnego przedstawiono na rysunku 11.7.



Rys. 11.6. Sztuczne uziomy fundamentowe: a) w ławie fundamentowej z betonu niezbrojonego, b) w fundamencie z betonu niezbrojonego, c) w fundamencie z betonu zbrojonego; 1 - sztuczny uziom fundamentowy, 2 - uchwyt uziomowy, 3 - przewód uziemiający, 4 - ława fundamentowa, 5 - mur z cegły, 6 - warstwa izolacyjna, 7 - podłoga, 8 - beton niezbrojony, 9 - beton zbrojony



Rys. 11.7. Stosowane w uziomach fundamentowych sztucznych: a) uchwyty mocujące płaskownik uziomu, b) złączki prętów i płaskowników uziomowych, c) mostek dylatacyjny

Przewody służące do połączenia uziomu fundamentowego z główną szyną uziemiającą lub zaciskiem uziemiającym (przewody uziemiające) powinny być wprowadzone do wnętrza pomieszczenia. Od miejsca wyjścia z podłogi lub ściany do pomieszczenia, powinny mieć długość co najmniej 150 cm. W miejscu wyprowadzenia ze ściany lub podłogi powinny być one dodatkowo chronione przed korozją mimo, że dopuszcza się wykonywanie ich wyłącznie ze stali ocynkowanej.

Zaleca się specjalne znakowanie przewodów uziemiających w czasie fazy budowlanej (np. przez założenie izolacji lub oznakowań barwnych), aby uchronić je przed zniszczeniem w czasie wykonywania budynku. Ilość przewodów uziemiających zależy od przeznaczenia uziomu fundamentowego.

Rezystancja uziomów fundamentowych jest na ogół niewielka i rzadko przekracza wartość 10 Ω .

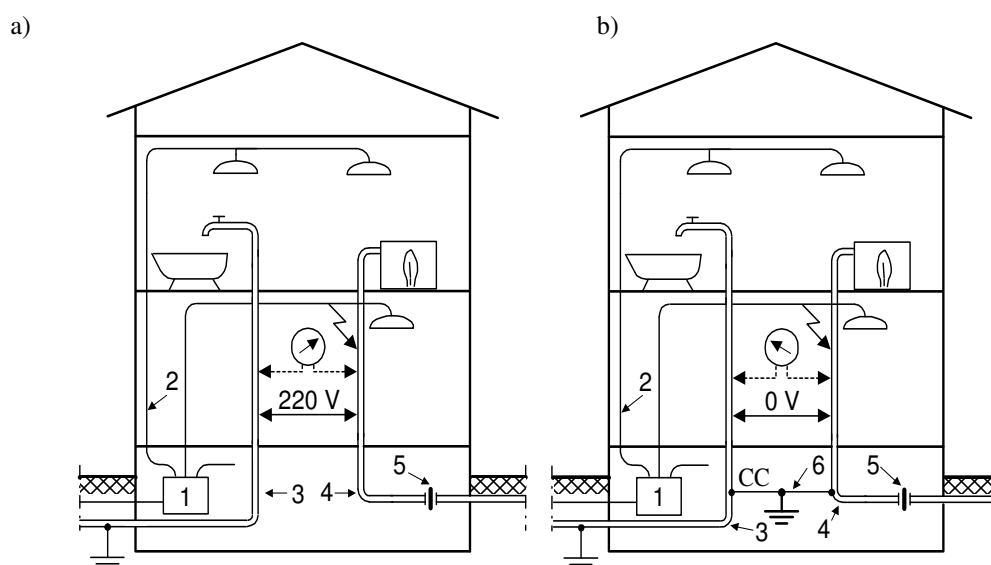
11.9. Rola połączeń wyrównawczych w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia

Podstawowym zadaniem połączeń wyrównawczych jest wyrównanie potencjałów łączonych części tak aby między tymi częściami nie pojawiły się napięcia stwarzające zagrożenie dla ludzi i urządzeń. Zadaniem niektórych połączeń wyrównawczych jest też

stwarzanie drogi prądowej dla prądów zwarć podwójnych o oporze umożliwiającym wyłączenie uszkodzonych obwodów w wymaganym czasie.

Na rysunku 11. 8 a) przedstawiono sytuację, w której dwie części przewodzące obce są w zasięgu ręki. Na jednej części, odizolowanej od ziemi i odizolowanej od części metalowych połączonych z przewodem PE, pojawiło się, w wyniku uszkodzenia izolacji elektrycznej, napięcie fazowe lub jego część. Na drugiej, uziemionej, utrzymuje się potencjał ziemi. Między tymi częściami może więc występować napięcie dotykowe przekraczające wartość dopuszczalną. Wobec braku zamkniętego obwodu zwarciovego nie będą działały zabezpieczenia nadprądowe lub gdy obwód zwarciovowy będzie miał duży opór – zabezpieczenia zadziałają z czasem niedopuszczalnie długim.

Różnica potencjałów na nie połączonych, dostępnych częściach metalowych może też powstać na skutek przywleczenia na każdą z nich różnych potencjałów z poza budynku (gdy do budynku doprowadzone są rurociągi lub inne elementy metalowe bez wstawek izolacyjnych).



Rys. 11.8. Zagrożenie porażeniowe w budynku przy pojawieniu się różnicy potencjałów między częściami przewodzącymi obcymi: a) przy braku połączenia wyrównawczego, b) przy wykonaniu połączenia wyrównawczego głównego; 1 – złącze elektryczne, 2 – instalacja elektryczna, 3 – uziemiony rurociąg wodny, 4 – izolowany od ziemi metalowy rurociąg gazowy, 5 – wstawka izolacyjna, 6 – główna szyna wyrównawcza

Sytuacja przedstawiona na rys. 11.8 a) zmieni się radykalnie jeżeli części jednocześnie dostępne zostaną połączone przewodem wyrównawczym (oznaczonym literami CC). Połączenia takie pokazano na rys. 11.8 b). Przewód wyrównawczy tworzy połączenie wyrównawcze, które może skutecznie zmniejszyć napięcie dotykowe między częściami połączonymi.

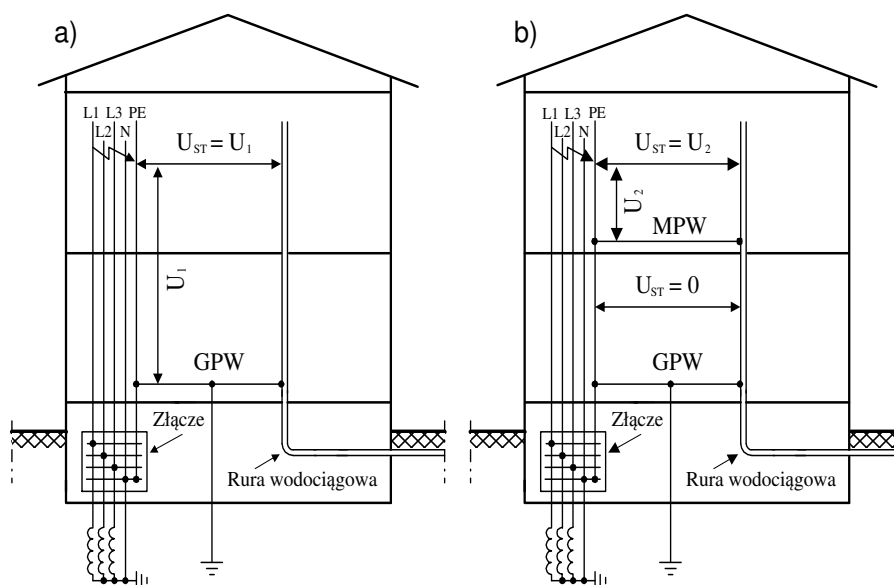
W budynkach np. w budynkach bardzo wysokich lub długich, w których przewody ochronne mają niewielki przekrój poprzeczny a ich długość jest znaczna, wykonanie jednego połączenia głównego może być niewystarczające. Przy zwarciach w miejscach oddalonych od głównych połączeń wyrównawczych, w pobliżu miejsca zwarcia, mogą pojawić się bowiem napięcia dotykowe o znacznych wartościach. Należy wtedy wykonać kilka stref ekwipotencjalnych.

Korzyści wynikające z wykonania dwóch połączeń wyrównawczych można zauważyć analizując rys. 11.9. Przy zwarcu w punkcie K, zaznaczonym na rys. 11.9. a), wartość napięcia dotykowego U_{ST} między przewodem ochronnym a rurociągiem będzie miała różną

wartość w różnych miejscach. W bezpośredniej bliskości połączeń wyrównawczych głównych $U_{ST} = 0$. W punkcie K napięcie $U_{ST} = U_1$. Napięcie U_1 jest spadkiem napięcia na przewodzie PE między miejscem zwarcia (punktem K) i miejscem połączenia (głównym przewodem wyrównawczym) przewodu PE z uziomem. Między miejscem zwarcia a ww. połączeniem $U_{ST} < U_1$. Za miejscem zwarcia $U_{ST} = U_1$.

Przy zwarciu do przewodu PE przed miejscem wykonania głównego połączenia wyrównawczego napięcie dotykowe w budynku będzie równe zero ($U_{ST} = 0$).

Jeżeli w pobliżu punktu zwarcia K zostanie wykonane następne połączenie wyrównawcze główne (jak to pokazano na rys. 11.9 b) to wartości napięć dotykowych w budynku ulegną redukcji. Największe napięcie U_{ST} będzie teraz równe spadkowi napięcia na przewodzie PE między punktem K i punktem drugiego połączenia wyrównawczego MPW ($U_{ST} = U_2$). Między punktem wykonania drugiego połączenia wyrównawczego MPW a połączeniem GPW napięcie dotykowe, przy stosunku oporów przewodu PE przed i za rozpatrywanym miejscem równym stosunkowi odpowiednich oporów rurociągu, będzie równe zero ($U_{ST} = 0$).



Rys. 11.9. Napięcia dotykowe w budynku: a) przy wykonaniu jedynie głównych połączeń wyrównawczych GPW na kondygnacji przyziemnej, b) przy wykonaniu dwóch połączeń wyrównawczych (głównego i miejscowego)

Połączenia wyrównawcze klasyfikuje się ze względu na:

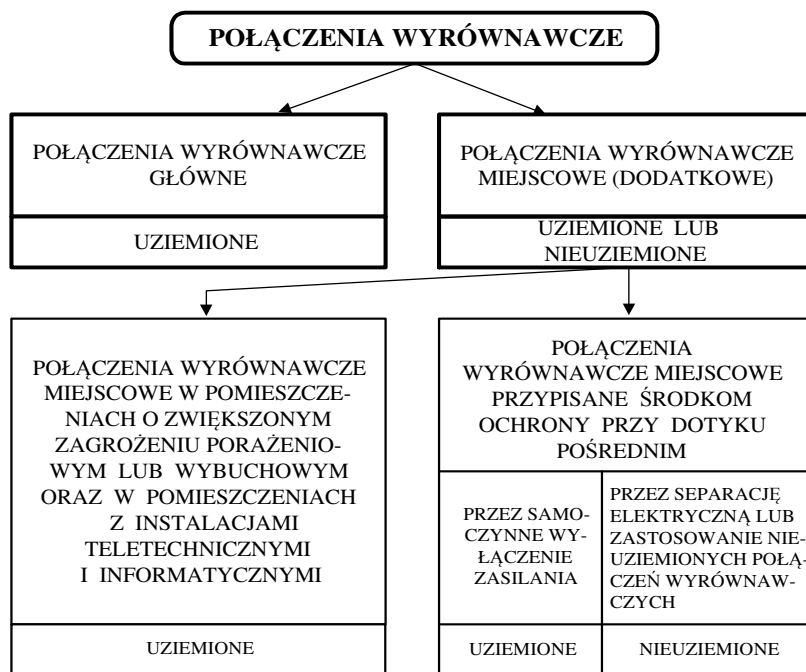
- **zasięg ich działania** (główne, miejscowe),
- **nakaz lub zakaz ich połączenia z ziemią** (uziemione, nieuziemione),
- **obciążalność prądową** (nie przewidziane do przewodzenia prądów, przewidziane do przewodzenia prądów).

Istnieje przy tym ścisły związek pomiędzy ww. klasyfikacjami. Np. połączenia wyrównawcze główne powinny być uziemiene a połączenia wyrównawcze miejscowe w zależności od celu ich zastosowania być albo uziemiene albo nie. Zależności te przedstawiono na rysunku 11.10.

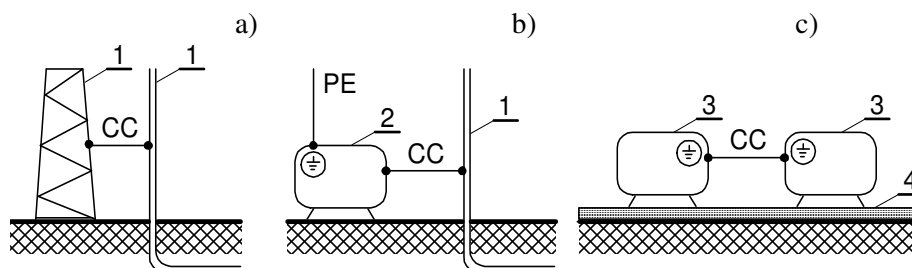
Połączenia wyrównawcze mogą łączyć niżej wymienione części przewodzące (rys. 11.11):

- różne części przewodzące obce o istotnych rozmiarach,

- części przewodzące obce i części przewodzące dostępne (lub przyłączony do nich przewód ochronny PE),
- co najmniej dwie części przewodzące dostępne izolowane od ziemi (niepołączone przewodem ochronnym PE) lub izolowane od ziemi części przewodzące dostępne i obce.



Rys. 11.10. Klasyfikacja połączeń wyrównawczych ze względu na zasięg ich działania i wymagania dotyczące ich uziemienia



Rys. 11.11. Połączenia wyrównawcze między częściami, na których występuje niebezpieczna różnica potencjałów: a) połączenie dwóch części przewodzących obcych, b) połączenie części przewodzącej dostępnej i obcej, c) połączenie części przewodzących dostępnych odizolowanych od ziemi; 1 - część przewodząca obca, 2 - część przewodząca dostępna urządzenia elektrycznego z przewodem ochronnym PE, 3 - część przewodząca dostępna urządzenia elektrycznego nie połączonego z przewodem ochronnym PE, 4 - izolowane stanowisko

Połączenia wyrównawcze uziemione są zazwyczaj nie przewidziane do przewodzenia prądów roboczych i uszkodzeniowych (może przez nie płynąć jedynie część prądu uszkodzeniowego). Ich zadaniem jest jedynie wyrównanie potencjałów. Połączenia wyrównawcze nieziemione przewidziane są nie tylko do wyrównania potencjałów części łączonych, ale i do przewodzenia prądów zwarć podwójnych.

W każdym budynku należy, zgodnie z PN-IEC 60364, wykonać połączenia wyrównawcze główne. Połączeniami tymi powinny być objęte:

- rurociągi instalacji nieelektrycznych budynku (rurociągi wodne, gazowe, centralnego ogrzewania, klimatyzacyjne itp.),
- metalowe konstrukcje budynku, metalowe osłony budynku itp.,
- metalowe powłoki lub ekrany wprowadzonych do budynku kabli elektroenergetycznych, teletechnicznych, informatycznych, telewizyjnych, radiofonii przewodowej itp.,
- instalacje antenowe budynku i części innych instalacji nie elektroenergetycznych, które wymagają uziemienia (części przewodzące dostępne są uziemiane bezpośrednio a części czynne – zazwyczaj przez ochronniki przepięciowe).

Połączenia wyrównawcze miejscowe (dodatkowe) mogą spełniać różnorodne zadania. Do zadań tych należą:

- zapewnienie bezpieczeństwa przy dotyku pośrednim w pomieszczeniach i na terenach, na których odporność człowieka jest obniżona ze względu na panujące warunki środowiskowe lub jego stan chorobowy,
- zapewnienie bezpieczeństwa przy dotyku pośrednim w częściach instalacji elektrycznych, w których nie można spełnić wymagań dotyczących czasu wyłączenia zasilania obwodów stwarzających zagrożenie,
- zapewnienie bezpieczeństwa porażeniowego w instalacjach, w których środki ochrony nie działają przy przepływie prądu na drodze ręka-ręka,
- zwiększenie bezpieczeństwa przeciwwybuchowego w pomieszczeniach z zagrożeniem wybuchowym,
- ochronę urządzeń elektronicznych przed uszkodzeniami wywołanymi przepięciami.

11.10. Budowa i prowadzenie przewodów PE, PEN i CC

Jako przewody ochronne PE mogą być stosowane między innymi:

- żyła przewodu wielożyłowego,
- przewody izolowane lub gołe prowadzone we wspólnej osłonie z przewodami czynnymi,
- ułożone na stałe przewody gołe lub izolowane,
- metalowe osłony, takie jak np. powłoki, ekrany i pancerze niektórych rodzajów przewodów (jeżeli spełniają wymagania dotyczące minimalnej konduktancji i ciągłości),
- metalowe rury lub inne osłony przewodów (jeżeli spełniają wymagania dotyczące minimalnej konduktancji i ciągłości),
- odpowiednie części przewodzące obce (jeżeli spełniają wymagania dotyczące minimalnej konduktancji i ciągłości),

Przewód przewodu ochronnego niebędącego: częścią przewodu wielożyłowego, przewodów jednożyłowych ułożonych pod wspólną osłoną lub ich osłoną, nie powinien być mniejszy niż:

- $2,5 \text{ mm}^2$ w przypadku stosowania ochrony przed uszkodzeniami mechanicznymi,
- $4,0 \text{ mm}^2$ w przypadku niestosowania ochrony przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Funkcję przewodu ochronnego może pełnić ułożony na stałe przewód PEN, który równocześnie pełni funkcję przewodu neutralnego, pod warunkiem, że jego przekrój nie jest mniejszy od 10 mm^2 , gdy jest wykonany z miedzi, lub 16 mm^2 , gdy jest on wykonany z aluminium. Przewodów PEN nie wolno stosować w obwodach za wyłącznikami różnicowoprądowymi.

Przekrój przewodu ochronnego PE (S_{PE}) powinien być dobrany w zależności od przewodów fazowych (S_L) instalacji elektrycznej. Zależności te przedstawiono w tablicy 11.1.

Przekroje przewodów wyrównawczych głównych i dodatkowych (miejscowych) nie powinny być mniejsze od podanych w tablicy 11.2.

Tablica 11.1. Minimalne przekroje przewodów ochronnych S_{PE}

Przekrój przewodu fazowego S_L w mm^2	Przekrój przewodu ochronnego S_{PE} w mm^2
$S_L \leq 16$	$S_{PE} = S_L$
$16 \leq S_L \leq 35$	$S_{PE} = 16$
$S_L > 35$	$S_{PE} = 0,5 S_L$

Tablica 11.2. Wymagane przekroje przewodów wyrównawczych

Rodzaj wymagania	Połączenia wyrównawcze główne	Połączenia wyrównawcze dodatkowe (miejscowe)	
		między dwiema częściami przewodzącymi dostępnymi	między częścią przewodzącą dostępną i częścią obcą
Wymagania podstawowe	$S_{CC} \geq 0,5 S_{PE \max}$	$S_{CC} \geq S_{Pemin}$	$S_{CC} \geq 0,5 S_{PE}$
Wymaganie dodatkowe	$S_{CC} \geq 6 \text{ mm}^2$	Przewody CC nie ułożone razem z przewodami fazowymi: $S_{CC} \geq 2,5 \text{ mm}^2$ jeżeli są chronione od uszkodzeń mechan. $S_{CC} \geq 4 \text{ mm}^2$ jeżeli nie są chronione od uszkodzeń mechan.	
Złagodzenie wymagań podstawowego	Dopuszcza się $S_{CC} \leq 25 \text{ mm}^2 \text{ Cu}^{1)}$	-	
1) W przypadku stosowania innego metalu niż miedź należy przyjmować przekrój zapewniający taką samą obciążalność prądową jak przewód miedziany.			
Oznaczenia: S_{CC} - przekrój przewodu wyrównawczego, $S_{PE\max}$ – największy wymagany przekrój przewodu PE w całej instalacji, S_{Pemin} – najmniejszy przekrój spośród przewodów PE przyłączonych do rozpatrywanych części przewodzących dostępnych, S_{PE} – przekrój przewodu PE przyłączonego do rozpatrywanej części przewodzącej dostępnej			

Jako przewody wyrównawcze mogą być stosowane: miedziane przewody jednożyłowe gołe lub izolowane, miedziane żyły przewodów wielożyłowych, stalowe przewody gołe lub pokryte powłokami antykorozyjnymi, np. stalowe ocynkowane.

Do wykonania nieuziemionych połączeń wyrównawczych, które mogą przewodzić prądy zwarciovowe, należy używać przewodów izolowanych o przekroju spełniającym wymagania stawiane przewodom PE. Jako połączenia wyrównawcze uziemione mogą być wykorzystywane zamocowane na stałe części obce, np. stalowe konstrukcje budowlane, matalowe rury wodociągowe. Przewody wyrównawcze powinny być układane na podłożu stałym wzdłuż możliwie krótkiej trasy, w miejscach, w których nie będą narażone na uszkodzenia mechaniczne. Przewody wyrównawcze powinny być łączone z częściami przewodzącymi dostępnymi i z częściami obcymi przez spawanie lub za pomocą zacisków śrubowych (dwudzielnych lub taśmowych). Wymagania podane w powyższej tablicy obowiązują dla przewodów ochronnych wykonanych z tego samego materiału co przewody fazowe. W innych przypadkach przekrój przewodu S_{PE} powinien być tak dobrany, aby jego konduktancja nie była mniejsza od konduktancji przewodu spełniającego wymagania określone w tablicy.

Uwaga: W styczniu 2010 r. do katalogu polskich norm wprowadzono nową normę PN-HD 60364-5-54 zmieniającą wymagania stawiane uziemieniom oraz przewodom ochronnym i przewodom ochronnym wyrównawczym. Norma nie jest jeszcze wprowadzona do obowiązkowego stosowania.

12. INSTALACJE ELEKTRYCZNE W POMIESZCZENIACH WYPOSAŻONYCH W WANNĘ LUB NATRYSK (PN-IEC 60364-7-701:1999 oraz PN-HD 60364-7-701:2007)

12.1. Uwagi ogólne

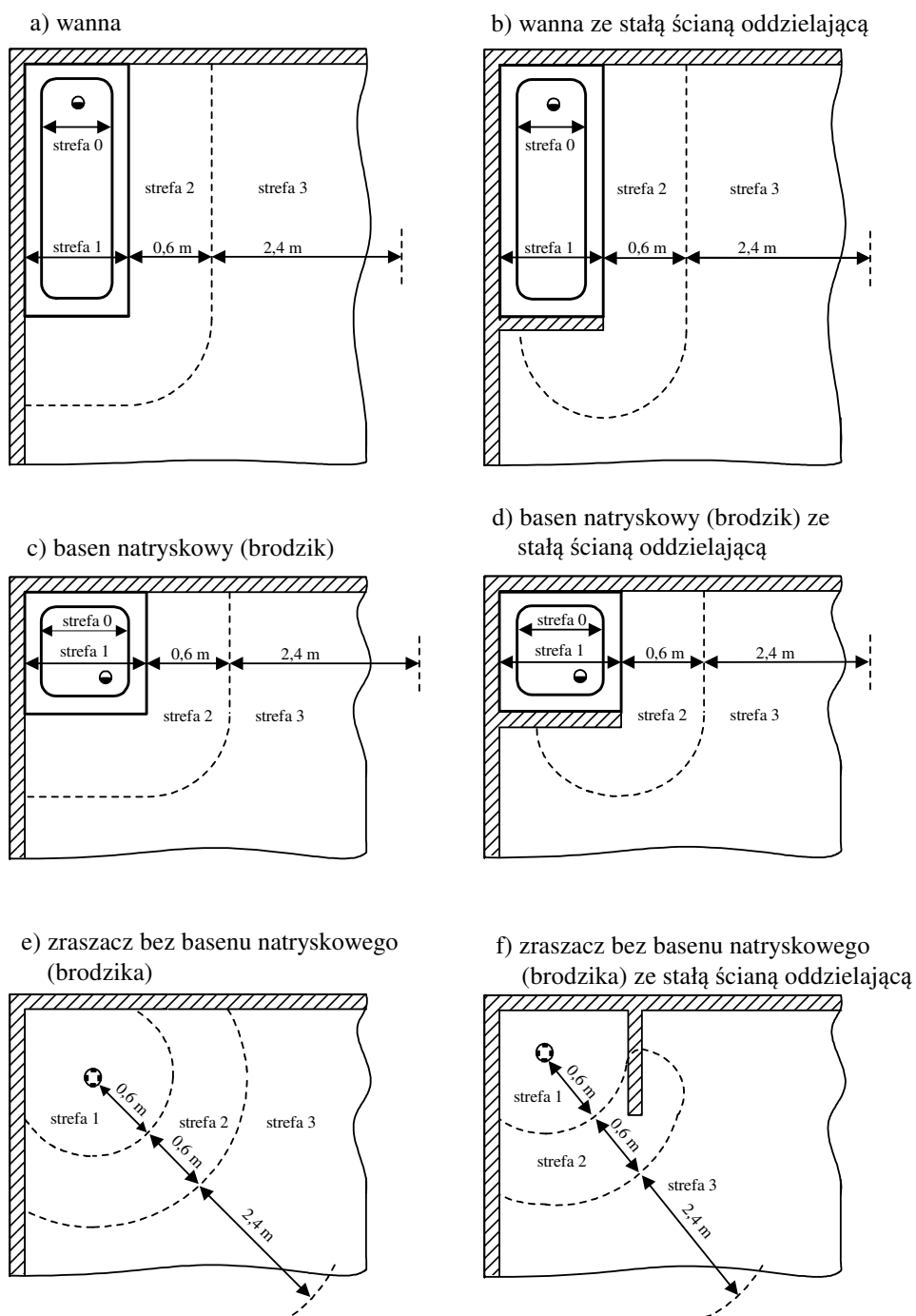
Pomieszczenia wyposażone w wannę lub basen natryskowy (łazienki) są zaliczane do pomieszczeń specjalnych, szczególnie niebezpiecznych dla człowieka z punktu widzenia bezpieczeństwa elektrycznego. Zwiększone zagrożenie porażeniowe wynika z obecności w zasięgu ręki licznych części przewodzących dostępnych (np. pralki) i obcych (np. osprzęt instalacji wodociągowej, grzewczej, gazowej) oraz zmożenia wodą, a nawet zanurzenia w wodzie, ciała człowieka. Dlatego też w normie PN-IEC 60364 specjalny arkusz 701 poświęcono pomieszczeniom wyposażonym w wannę lub basen natryskowy. W arkuszu tym wymagania ogólne dotyczące zasad budowy instalacji elektrycznych uzupełnione zostały wymaganiami szczegółowymi, określającymi zasady budowy instalacji elektrycznych w tych pomieszczeniach. Zawarte w normie wymagania szczegółowe dotyczą instalacji elektrycznej i odbiorników zainstalowanych na stałe.

W dniu 31 marca 2007 roku do katalogu polskich norm wprowadzono (w języku angielskim) nową zmodyfikowaną wersję tej normy jako dokument harmonizujący PN-HD 60364-7-701:2007, jako dokument zastępujący dotychczasową normę PN-IEC 60364-7-701:1999.

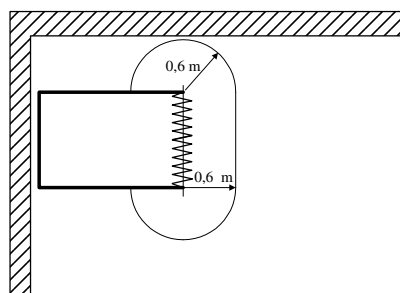
12.2. Klasyfikacja stref w łazienkach

Stara norma (jeszcze obowiązująca w Polsce) wyróżnia 4 strefy ochronne (rys. 12.1-12.3):

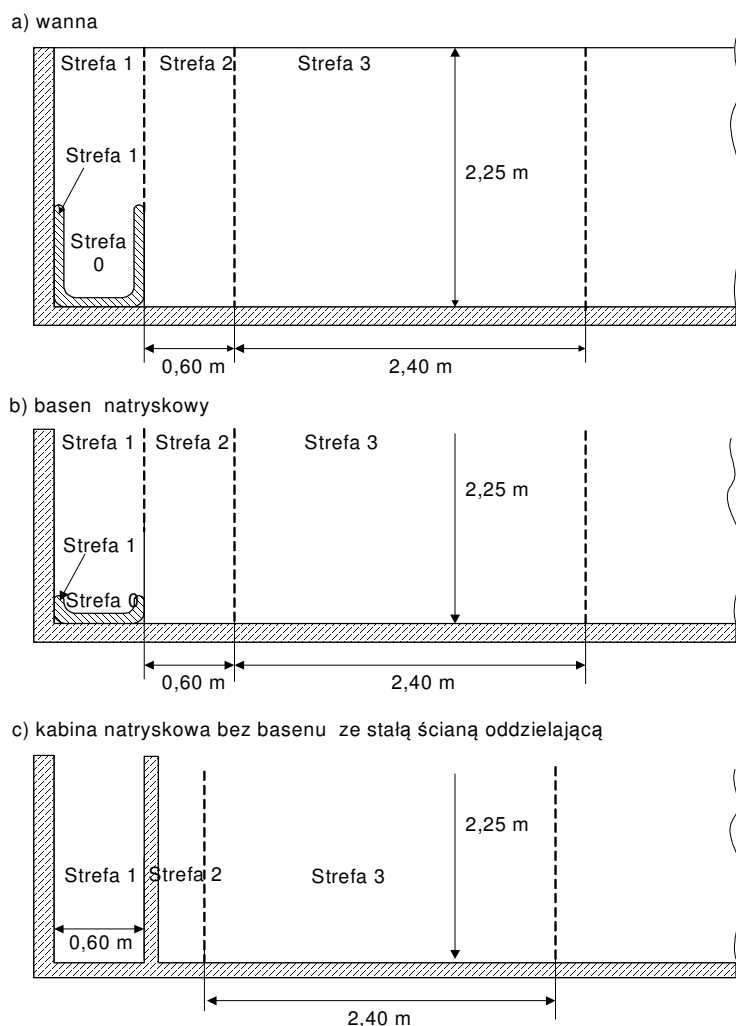
- **strefa 0** – jest wnętrzem wanny lub basenu natryskowego,
- **strefa 1** – jest ograniczona:
 - pionową płaszczyzną, przebiegającą wzdłuż zewnętrznej krawędzi obrzeża wanny, basenu natryskowego lub w odległości 0,60 m od prysznica, w przypadku braku basenu natryskowego,
 - płaszczyzną podłogi,
 - płaszczyzną poziomą leżącą na wysokości 2,25 m nad podłogą,
- **strefa 2** – jest ograniczona:
 - pionową płaszczyzną, przebiegającą w odległości 0,60 m na zewnątrz od płaszczyzny ograniczającej strefę 1,
 - płaszczyzną podłogi,
 - płaszczyzną poziomą leżącą na wysokości 2,25 m nad podłogą,
- **strefa 3** – jest ograniczona:
 - pionową płaszczyzną, przebiegającą w odległości 2,40 m na zewnątrz od płaszczyzny ograniczającej strefę 2,
 - płaszczyzną podłogi,
 - płaszczyzną poziomą leżącą na wysokości 2,25 m nad podłogą.



Rys. 12.1. Wymiary stref ochronnych w łazience (rzut poziomy) wg normy PN-IEC 60364-7-701



Rys. 12.2. Prefabrykowana kabina natryskowa wg normy PN-IEC 60364-7-701

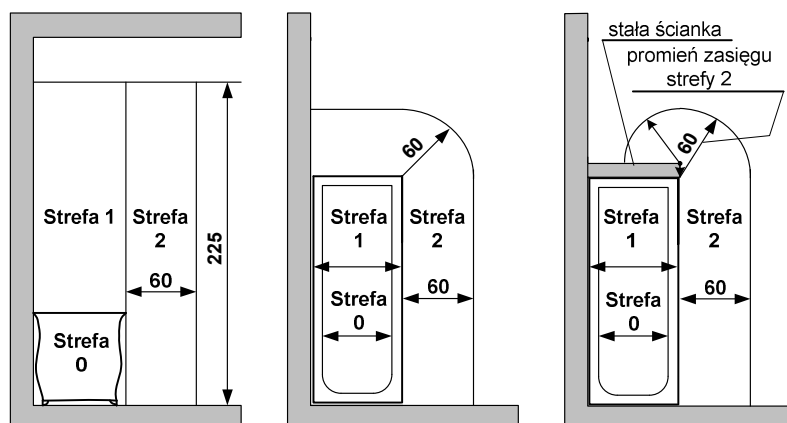


Rys. 12.3. Wymiary stref ochronnych w łazience (rzut pionowy) wg normy PN-IEC 60364-7-701

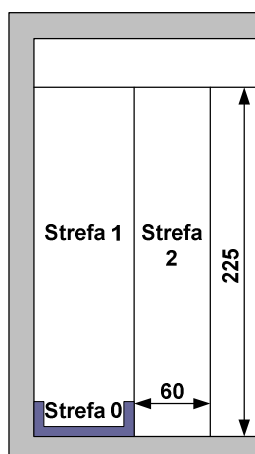
Nowa norma PN-HD 60364-7-701:2007 wyróżnia strefy ochronne w zależności od wyposażenia pomieszczenia (rys. 12.4 -12.7):

- a) w pomieszczeniu z wanną lub z natryskiem wyposażonym brodzik wyróżniono 3 strefy:
- **strefę 0** – wewnątrz wanny lub basenu natryskowego,
 - **strefę 1** – ograniczoną:
 - pionową płaszczyzną, przebiegającą wzdłuż zewnętrznej krawędzi obrzeża wanny, basenu natryskowego
 - płaszczyzną podłogi,
 - płaszczyzną poziomą leżącą na wysokości 225 cm nad podłogą,
 - **strefę 2** – ograniczoną:
 - pionową płaszczyzną, przebiegającą w odległości 60 cm na zewnątrz od płaszczyzny ograniczającej strefę 1,
 - płaszczyzną podłogi,
 - płaszczyzną poziomą leżącą na wysokości 225 cm nad podłogą.
- b) w pomieszczeniu z umiejscowionym na stałe natryskiem, ale bez wanny lub brodzika wyróżniono 2 strefy:
- **strefę 0** – ograniczoną:
 - w poziomie - płaszczyzną pionową przebiegającą w odległości 120 cm od punktu zamocowania wylewki natrysku,
 - w pionie - płaszczyzną podłogi,

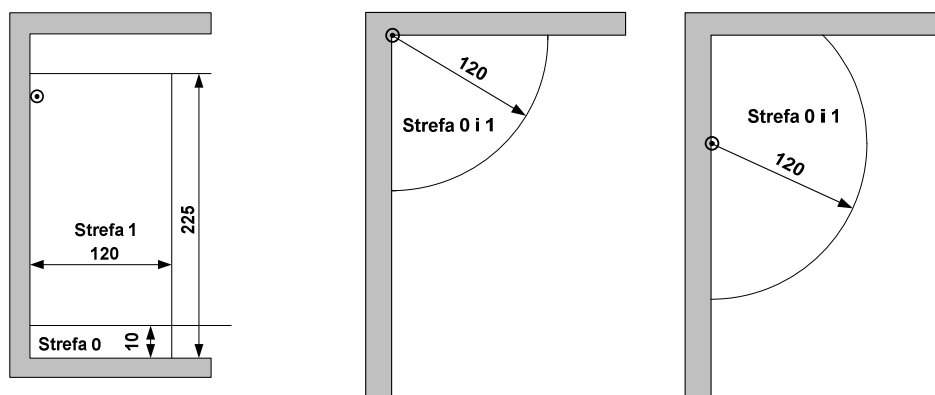
- w pionie - płaszczyzną poziomą leżącą na wysokości 10 cm powyżej podłogi
- **strefę 1** – ograniczoną:
 - w poziomie tak jak strefa 0 – czyli pionową płaszczyzną, przebiegającą w odległości 120 cm od punktu zamocowania wylewki natrysku,
 - w pionie - płaszczyzną poziomą leżącą na wysokości 10 cm powyżej podłogi,
 - w pionie - płaszczyzną poziomą leżącą na wysokości 225 cm nad podłogą.



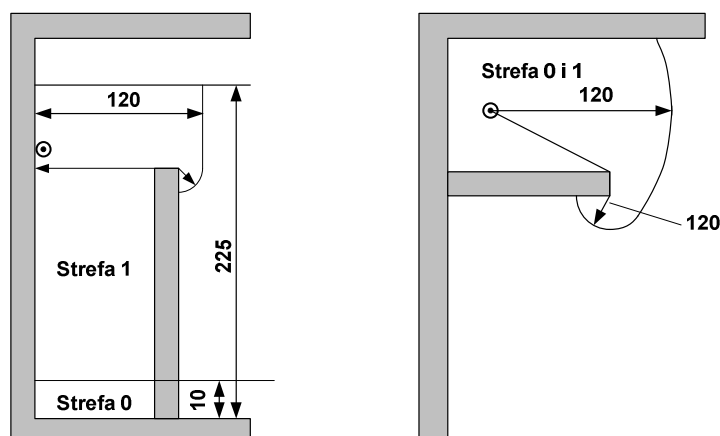
Rys. 12.4. Wymiary stref ochronnych w łazience z wanną wg normy PN-HD 60363-7-701:2007



Rys. 12.5. Wymiary stref ochronnych w łazience z brodzikiem wg normy PN-HD 60363-7-701:2007



Rys. 12.6. Wymiary stref ochronnych w łazience z natryskiem bez wanny lub brodzika i bez przegrody oddzielającej wg normy PN-HD 60363-7-701:2007



Rys. 12.7. Wymiary stref ochronnych w łazience z natryskiem bez wanny lub brodzika z przegrodą oddzielającą wg normy PN-HD 60363-7-701:2007

12.3. Ochrona przeciwporażeniowa

W pomieszczeniach opisywanych łazienek nie można stosować jako środków ochrony przeciwporażeniowej:

- ochrony przez zastosowanie barier i/lub przeszkód,
- ochrony przez umieszczenie poza zasięgiem ręki,
- ochrony przez zastosowanie środowiska nieprzewodzącego, oraz
- ochrony przez zastosowanie nieuziemionych połączeń wyrównawczych.

Separacja elektryczna w pomieszczeniach tych może być stosowana pod warunkiem zasilania z jednego transformatora separacyjnego jednego odbiornika lub jednego pojedynczego gniazda wtyczkowego

Ochrona przez zastosowanie SELV i PELV może być stosowana we wszystkich strefach do dowolnego wyposażenia elektrycznego pod warunkiem równoczesnego zastosowania:

- osłon lub obudów o stopniu ochrony nie mniejszym niż IPXXB lub IP2X, lub
- izolacji wytrzymującej badanie napięciem probierczym 500 V a.c. w czasie 1 minuty.

Jako ochronę uzupełniającą należy stosować do zabezpieczenia wszystkich obwodów jeden lub więcej wysokoczułych wyłączników różnicowoprądowych o znamionowym różnicowym prądzie wyłączającym o wartości nie przekraczającej 30 mA. Stosowanie wyłączników różnicowoprądowych nie jest zalecane, gdy stosowna jest ochrona przez separację elektryczną lub przez zastosowanie SELV i/lub PELV.

Jako ochronę uzupełniającą należy stosować ponadto dodatkowe ochronne połączenie wyrównawcze. Zgodnie z punktem 415.2 normy przewody wyrównawcze powinny łączyć przewód ochronny z częściami przewodzącymi dostępnymi urządzeń elektrycznych oraz z częściami przewodzącymi obcymi, jakie mogą znajdować się w pomieszczeniu zawierającym wannę lub natrysk. Uzupełniające połączenie wyrównawcze może być wykonane wewnątrz lub na zewnątrz pomieszczenia łazienki. Zaleca się, aby połączenie było wykonane możliwie blisko miejsca wprowadzenia obcych części przewodzących do pomieszczenia łazienki. Przekrój przewodów wyrównawczych powinien spełniać wymagania zawarte w punkcie 543.1.3 normy PN-HD 60364-5-54. Na przykład częściami przewodzącymi obcymi są następujące części:

- metalowe części (elementy) instalacji wodociągowej i instalacji kanalizacyjnej,
- metalowe części (elementy) instalacji ogrzewczej i instalacji klimatyzacyjnej,
- metalowe części (elementy) instalacji gazowej,

- metalowe części (elementy) konstrukcji budowlanej.

Rury metalowe obudowane (osłonięte) plastikiem (izolacją) nie muszą być objęte połączeniem wyrównawczym, jeżeli nie są dostępne do dotyku i nie są połączone z dostępnymi do dotyku nieuziemionymi częściami przewodzącymi.

W przypadku, gdy budynek nie jest wyposażony w główne połączenie wyrównawcze, w pomieszczeniu łazienki miejscowym połączeniem wyrównawczym powinny być objęte następujące części przewodzące obce:

- metalowe części (elementy) instalacji wodociągowej i instalacji kanalizacyjnej,
- metalowe części (elementy) instalacji ogrzewczej i instalacji klimatyzacyjnej,
- metalowe części (elementy) instalacji gazowej.

Uwaga: Od dnia 8 lipca 2009 jest już obowiązkowe stosowanie nowego rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 marca 2009 r. (Dz. U. nr 56 z dnia 7.04.2009 r., poz. 461) zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie..

W rozporządzeniu tym zmieniono niektóre wymagania dotyczące ochrony przeciwporażeniowej. Do najważniejszych zmian należą zmiany w **§ 183:**

- ust. 1 pkt 3 dotyczący stosowania urządzeń różnicowoprądowych otrzymuje brzmienie:
3) urządzenia ochronne różnicowoprądowe uzupełniające podstawową ochronę przeciwporażeniową i ochronę przed powstaniem pożaru, powodujące w warunkach uszkodzenia samoczynne wyłączenie zasilania;”
- dodaje się ust. 1a dotyczący wykonywania połączeń wyrównawczych w brzmieniu:
„1a. Połączeniami wyrównawczymi, o których mowa w ust. 1 pkt 7, należy objąć:
1) instalację wodociągową wykonaną z przewodów metalowych,
2) metalowe elementy instalacji kanalizacyjnej,
3) instalację ogrzewczą wodną wykonaną z przewodów metalowych,
4) metalowe elementy instalacji gazowej,
5) metalowe elementy szybów i maszynowni dźwigów,
6) metalowe elementy przewodów i wkładów kominowych,
7) metalowe elementy przewodów i urządzeń do wentylacji i klimatyzacji,
8) metalowe elementy obudowy urządzeń instalacji telekomunikacyjnej.”

W rozporządzeniu zostały uchylone:

§ 113 ust. 8.

Instalację wodociągową wykonaną z zastosowaniem przewodów metalowych, a także metalową armaturę oraz metalowe urządzenia instalacji wodociągowej wykonanej z zastosowaniem przewodów z materiałów nieprzewodzących prądu elektrycznego należy objąć elektrycznymi połączeniami wyrównawczymi, o których mowa w § 183 ust. 1 pkt 7.

§ 135 ust. 6.

Instalację ogrzewczą wodną wykonaną z zastosowaniem przewodów metalowych, a także metalową armaturę oraz metalowe grzejniki i inne urządzenia instalacji ogrzewczej wykonanej z zastosowaniem przewodów z materiałów nieprzewodzących prądu elektrycznego należy objąć elektrycznymi połączeniami wyrównawczymi, o których mowa w § 183 ust. 1 pkt 7.

12.4. Dobór i montaż sprzętu i osprzętu elektrycznego

Sprzęt i osprzęt elektryczny ze względu na wpływ warunków środowiskowych powinien mieć stopień ochrony nie mniejszy niż:

- IP X7 – w strefie 0,
- IP X5 – w strefie 1,
- IP X4 – w strefie 2 (IP X5 – w łazienkach publicznych),
- IP X1 – w strefie 3 (IP X5 – w łazienkach publicznych).

Wymagania te nie dotyczą zasilania pryszniców zbudowanych zgodnie z wymogami normy EN 61558-2-5 zainstalowanych w strefie 2 i tam, gdzie nie ma możliwości bezpośredniego natrysku na sprzęt wodą.

Sprzęt elektryczny wystawiony na działanie wody, np. do celów czyszczenia w łazienkach publicznych musi mieć stopień ochrony nie mniejszy niż IP X5.

Przewody elektryczne

- a) zasilające sprzęt elektryczny zainstalowany w strefach 0, 1 i 2 i budowane na częściach murów otaczających te strefy powinny być montowane na powierzchni ściany lub w murze na głębokości nie mniejszej niż 5 cm. Przewody elektryczne zasilające urządzenia elektryczne w strefie 1 powinny być montowane:
 - pionowo od góry lub poziomo przez mur od tyłu urządzenia, gdy urządzenie to jest zamontowane na stałe nad wanną, np. urządzenia ogrzewające wodę,
 - pionowo od dołu lub poziomo przez przylegający mur, kiedy urządzenie elektryczne jest umieszczone w przestrzeni pod wanną,
- b) wszystkie inne części instalacji elektrycznej, włączając w to osprzęt, umieszczone w częściach murów ograniczających te strefy powinny być umieszczone na głębokości co najmniej 5 cm od granicy strefy rozumianej jako powierzchnia ściany,
- c) tam, gdzie wymagania punktów a) lub b) nie mogą być spełnione, przewody elektryczne mogą być zainstalowane jeśli:
 - obwody są chronione przez zastosowanie SELV lub PELV lub separacji elektrycznej,
 - obwody są chronione przez ochronę dodatkową zgodnie z punktem 415.1 zapewnioną przez zastosowanie wyłącznika różnicowoprądowego o znamionowym różnicowym prądzie zadziałania nie przekraczającym 30 mA; takie obwody powinny zawierać przewód ochronny,
 - zastosowane przewody lub kable są osłonięte uziemionym płaszczem metalowym o przekroju zgodnym z wymogami dla przewodu ochronnego, są przewodami zamkniętymi w metalowej obudowie, magistrali lub korytku spełniających wymagania stawiane przewodowi ochronnemu, lub gdy użyta jest koncentryczna izolowana konstrukcja przewodu,
 - użyte są kable lub przewody z zapewnioną osłoną przed uszkodzeniami mechanicznymi np. metalowa obudowa, która uniemożliwia przebicie przewodu przez gwoździe, śruby, wiertła itp.

Urządzenia rozdzielcze i sterownicze

W strefie 0: nie mogą być instalowane.

W strefie 1 mogą być instalowane:

- puszkę rozgałęźną, instalację do zasilania urządzeń elektrycznych dozwolone do stosowania w strefie 0 i 1 przez normę 701.55,
- wyposażenie, włącznie z gniazdami wtyczkowymi obwodów SELV lub PELV, z zastrzeżeniem, że źródło ich zasilania musi być umieszczone poza strefą 0 lub 1,

W strefie 2 mogą być instalowane:

- urządzenia inne niż gniazda wtyczkowe,
- wyposażenie, włącznie z gniazdami wtyczkowymi obwodów SELV lub PELV, z zastrzeżeniem, że źródło ich zasilania musi być umieszczone poza strefą 0 lub 1,
- gniazdo do zasilania golarki zgodnie z EN 61558-2-5;
- wyposażenie, włącznie z gniazdami wtyczkowymi dla sprzętu sygnalizacyjnego lub komunikacyjnego, gdy taki sprzęt jest chroniony przez SELV lub PELV.

Do budowy rozdzielnic lub urządzeń sterujących i wyposażenia mają zastosowanie wymagania normy 701.512.3b z ograniczeniem wynikającym z grubości ścian.

Elektryczne urządzenia odbiorcze

W strefie 0 mogą być instalowane elektryczne urządzenia odbiorcze pod warunkiem spełnienia następujących wymagań:

- odbiorniki są zbudowane zgodnie z odpowiednimi normami i przeznaczone przez producenta do stosowania w strefie 0,
- są zamontowane i podłączone na stałe,
- są chronione przez zasilanie napięciem SELV o napięciu nieprzekraczającym 12 V a.c. lub 30 V d.c.,

W strefie 1 mogą być instalowane elektryczne urządzenia odbiorcze tylko zamontowane i podłączone na stałe i zgodnie z instrukcją producenta przeznaczone do montażu w strefie 1. Takimi urządzeniami są:

- urządzenia SPA np. do wytwarzania wiru wodnego,
- pompy prysznicowe,
- sprzęt chroniony przez SELV lub PELV o napięciu nieprzekraczającym 25 V a.c. lub 60 V d. c.,
- sprzęt wentylacyjny,
- elektrycznie ogrzewane wieszaki do suszenia ręczników,
- urządzenia podgrzewające wodę,
- urządzenia oświetleniowe.

Systemy ogrzewania podłogowego

Jako elementy ogrzewania podłogowego można stosować przewody grzejne lub cienkie maty grzejne z elementami grzejnymi, wykonane zgodnie z odpowiednimi normami przedmiotowymi. Elementy grzejne powinny być osłonięte od góry metalową osłoną, obudową, lub dobrze przewodzącą metalową siatką. Osłony te powinny być połączone z przewodem ochronnym przewodów zasilających elementy grzejne. Spełnienie drugiego wymogu nie jest konieczne, jeżeli elementy grzejne zasilane są napięciem SELV.

Dla zasilania systemów ogrzewania podłogowego nie jest dozwolone stosowanie jako środka ochrony przed dotykiem pośrednim separacji elektrycznej.

13. NOWE ZASADY WYKONYWANIA BADAŃ INSTALACJI ELEKTRYCZNYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

13.1. Wstęp

Szczegółowe wymagania dotyczące zakresu badań odbiorczych i eksploatacyjnych oraz opisy przykładowych układów pomiarowych były zawarte w **arkuszu 61** normy **PN-IEC 60364**. Arkusz 61 normy został 5 lutego 2007 r. wycofany z katalogu polskich norm bez zastąpienia, a 17.04.2007 wprowadzono normę PN-HD 60364-6-6 (oryg.), mającą ten sam zakres tematyczny co norma wycofana. Należało jednak nadal stosować normę wycofaną, gdyż była ona powołana w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury jako norma datowana. Dopiero w grudniu 2008 r. wprowadzono do katalogu polskich norm i opublikowano nową normę PN-HD 60364-6:2008 z tekstem pisanym w języku polskim.

Norma PN-HD 60364-6:2008 została powołana w tekście rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 marca 2009 r. (Dz. U. nr 56 z dnia 7.04.2009 r., poz.461) zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Stosowanie nowego rozporządzenia jest obowiązkowe od dnia 8 lipca 2009 r.

W normie zamieszczono następujące definicje stosowanych w niej pojęć:

- **Sprawdzanie** – wszystkie czynności, za pomocą których kontroluje się zgodność instalacji elektrycznej z wymaganiami HD 60364. Obejmuje ono oględziny, próby i protokolowanie.
- **Oględziny** – kontrola instalacji elektrycznej za pomocą zmysłów w celu upewnienia się czy wyposażenie elektryczne zostało prawidłowo dobrane i zainstalowane.
- **Próba** – użycie w instalacji elektrycznej środków, za pomocą których sprawdzana jest jej skuteczność. Obejmuje ona ustalanie wartości za pomocą odpowiednich przyrządów pomiarowych, innymi słowy wartości niewykrywalnych za pomocą oględzin.
- **Protokolowanie** – zapisywanie wyników oględzin i prób.
- **Konserwacja** – powiązanie wszystkich technicznych i administracyjnych czynności, łącznie z czynnościami nadzoru, przeznaczonych do utrzymania instalacji w stanie, w którym może spełniać wymagane funkcje lub do przywrócenia wymaganego stanu.

13.2. Zakres badań odbiorczych instalacji elektrycznych

Każda instalacja przed przekazaniem jej do eksploatacji powinna być poddana sprawdzeniom (obejmującym **oględziny, próby i protokolowanie**) w celu ustalenia, czy została wykonana zgodnie z wymaganiami odpowiednich norm i przepisów.

W ramach oględzin odbiorczych powinno się dokonać sprawdzenia dokumentacji technicznej instalacji. Jedną z najistotniejszych wad dokumentacji technicznej eksploatowanych w Polsce instalacji i urządzeń elektroenergetycznych jest brak właściwej dokumentacji projektowej lub jej niekompletność i niezgodność ze stanem faktycznym. Spowodowane jest to najczęściej brakiem aktualizowania dokumentacji technicznej w toku eksploatacji. W dokumentacji tej często nie znajdują odbicia wykonane modernizacje instalacji, wycofanie z eksploatacji urządzeń połączone z demontażem obwodów, budowanie nowych obwodów z nowymi urządzeniami odbiorczymi itp. Stan taki prowadzić może do zagrożenia bezpieczeństwa pracy nie tylko pracowników służb elektroenergetycznych (pomyłki łączeniowe), ale również pracowników produkcyjnych. Dlatego w Polsce jednym z najważniejszych sprawdzeń związanych z wykonaniem oględzin powinno być sprawdzenie zgodności instalacji elektrycznej z dokumentacją techniczną. Do dokumentacji tej zalicza się w szczególności:

- 1) projekt techniczny ze wszystkimi rysunkami zamiennymi lub naniesionymi zmianami wprowadzonymi w czasie realizacji i eksploatacji,
- 2) dokumentację fabryczną dostarczoną przez dostawcę urządzeń obejmującą w szczególności świadectwa, karty gwarancyjne, fabryczne instrukcje obsługi, opisy techniczne oraz rysunki konstrukcyjne, montażowe i zestawieniowe,
- 3) dokumentację eksploatacyjną obejmującą: dokumenty przyjęcia urządzeń do eksploatacji w tym protokoły z przeprowadzonych prób odbiorczych oraz protokoły z rozruchu i ruchu próbnego urządzeń,
- 4) instrukcje eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych,
- 5) książki i raporty pracy urządzeń,
- 6) dokumenty dotyczące oględzin, przeglądów, konserwacji, napraw i remontów,
- 7) protokoły zawierające wyniki poprzednich prób i pomiarów okresowych,
- 8) dokumenty dotyczące rodzaju i zakresu uszkodzeń i napraw.

Według PN-HD 60364-6 oględziny powinny obejmować (w zależności od potrzeb) sprawdzenie co najmniej:

- 1) metody ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym,
- 2) obecność przegród ogniowych i innych środków zapobiegających rozprzestrzenianiu się pożaru i ochrony przed skutkami działania ciepła,
- 3) dobór przewodów do obciążalności prądowej i spadku napięcia,
- 4) dobór i nastawienie urządzeń zabezpieczających i sygnalizacyjnych;
- 5) istnienie i prawidłowe umieszczenie odpowiednich urządzeń odłączających i łączących,
- 6) dobór urządzeń i środków ochrony w zależności od wpływów zewnętrznych,
- 7) oznaczenie przewodów neutralnych i ochronnych,
- 8) jednobiegunowe łączniki zainstalowane w przewodach (fazowych) liniowych,
- 9) umieszczenie schematów, tablic ostrzegawczych lub innych podobnych informacji,
- 10) oznaczenia obwodów, zabezpieczeń nadprądowych, łączników, zacisków itp.,
- 11) poprawność połączeń przewodów,
- 12) obecność i odpowiedni dobór przewodów ochronnych, w tym przewodów połączeń wyrównawczych (głównych) i uzupełniających,
- 13) dostęp do urządzeń umożliwiający wygodną ich obsługę, identyfikację i konserwację.

Z porównania zakresu oględzin odbiorczych podanego w normie PN-IEC 60364-6-61 i PN-HD 60364-6:2008 wynika, że zakres oględzin podany w normie PN-HD 60364-6 **jest nieco szerszy od zakresu podanego w PN-IEC 60364-6-61**, w której nie wymieniono oględzin jednobiegunowych łączników zainstalowanych w przewodach liniowych (536), i obecności oraz oględzin istnienia i odpowiedniego doboru przewodów ochronnych, w tym przewodów wyrównawczych i uziemiających.

Według normy PN-IEC 60364-6-61:2000 próby instalacji w zależności od potrzeby, należało przeprowadzać w miarę możliwości w następującej kolejności i zakresie:

- 1) sprawdzenie ciągłości przewodów ochronnych, w tym przewodów połączeń wyrównawczych głównych i dodatkowych,
- 2) pomiary rezystancji izolacji instalacji elektrycznej,
- 3) sprawdzenie ochrony przez oddzielenie od siebie obwodów,
- 4) pomiary rezystancji izolacji podłóg i ścian (w przypadku stosowania ochrony dodatkowej przez izolowanie stanowiska lub ochrony przez zastosowanie nieuziemiających połączeń wyrównawczych),
- 5) sprawdzenie samoczynnego wyłączenia zasilania,
- 6) próba biegunowości,

- 7) próba wytrzymałości elektrycznej,
- 8) próba działania (rozdzielnic, sterownic, napędów, blokad itp.),
- 9) sprawdzenie ochrony przed skutkami cieplnymi,
- 10) sprawdzenie ochrony przed spadkiem napięcia.

W przypadku, gdy wynik dowolnej próby jest niezgodny z normą, to próbę tą lub próby poprzedzające (jeżeli mogą mieć wpływ na wyniki sprawdzenia) należy powtórzyć po usunięciu przyczyny niezgodności. Stosowane metody prób powinny być zgodne z zalecanymi przez normę. Jednocześnie dopuszcza się stosowanie innych metod ich wykonywania, jednak pod warunkiem, że metody te zapewnią równie miarodajne wyniki sprawdzenia.

Zakres prób zapisany w normie PN-HD 60364-6:2008 jest podobny do zakresu podanego w normie PN-IEC 60364-6-61. Według tej normy należy wykonać w zależności od potrzeb i w miarę możliwości w podanej kolejności, wymienione poniżej **następujące próby**:

- 1) ciągłości przewodów,
- 2) rezystancji izolacji instalacji elektrycznej,
- 3) ochrony przez zastosowanie SELV, PELV lub separacji,
- 4) rezystancji/impedancji podłogi lub ściany,
- 5) samoczynnego wyłączenie zasilania,
- 6) ochrony uzupełniającej,
- 7) sprawdzenie biegunowości,
- 8) sprawdzenie kolejności faz,
- 9) sprawdzenie działania,
- 10) spadku napięcia.

Najważniejszymi zmianami w stosunku do zakresu pomiarów i prób odbiorczych zapisanych w PN-IEC 60364-6-61 jest:

- zrezygnowanie z wykonywania próby wytrzymałości elektrycznej i sprawdzania ochrony przed skutkami cieplnymi,
- dodanie sprawdzania ochrony uzupełniającej oraz kolejności faz,
- zmiana zapisu „sprawdzenie ochrony przez oddzielenie od siebie obwodów” na „sprawdzenie ochrony przez zastosowanie SELV , PELV lub separacji”.

13.3. Zakres badań eksploatacyjnych (okresowych) instalacji elektrycznych

Okresowe badania instalacji elektrycznych wykonuje się w celu sprawdzenia, czy parametry instalacji lub ich części nie pogorszyły się w takim stopniu, że użytkowanie ich jest niebezpieczne.

Tak jak w ramach oględzin odbiorczych, przed oględzinami okresowymi powinno się dokonać sprawdzenia dokumentacji technicznej instalacji.

Według normy PN-IEC 60364-6-61 badania okresowe powinny obejmować co najmniej:

- 1) oględziny,
- 2) pomiary rezystancji izolacji,
- 3) badania ciągłości przewodów ochronnych,
- 4) pomiary skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim,
- 5) sprawdzenie działania urządzeń ochronnych (wyłączników) różnicowoprądowych.

W normie **PN-HD 60364-6** zakres badań okresowych opisano w sposób ogólny. Napisano, że badania okresowe, zawierające szczegółowe sprawdzenia instalacji, powinny być przeprowadzone bez demontażu lub z częściowym demontażem według wymagań

opartych na odpowiednich testach (próbach) zawartych w arkuszu 61. Badania okresowe wykonuje się dla zapewnienia:

- a) bezpieczeństwa osób i inwentarza żywego przed porażeniem prądem i poparzeniem,
- b) ochrony obiektu przed zniszczeniem i pożarem oraz wydzielaniem się ciepła w wyniku uszkodzenia instalacji elektrycznej,
- c) potwierdzenia, że instalacja nie jest uszkodzona, a ewentualny ubytek nie wpływa na obniżenie się poziomu bezpieczeństwa,
- d) identyfikacji uszkodzeń instalacji i odstępstw od wymagań niniejszej normy, które mogą zwiększyć poziom zagrożenia.

W normie zaznaczono, że instalacja może być zaprojektowana i zbudowana zgodnie z wcześniejszymi wymaganiami norm lub przepisów, co nie musi oznaczać, że instalacje takie są niebezpieczne.

W czasie badań okresowych należy zachować specjalne środki ostrożności, aby nie spowodować zagrożenia dla ludzi i inwentarza żywego oraz nie spowodować zniszczenia obiektu i jego wyposażenia nawet wówczas, gdy obwód jest uszkodzony.

Urządzenia pomiarowe, monitorujące i metody badań powinny być dobrane zgodnie z odpowiednimi częściami normy PN-EN 61557.

13.4. Szczegółowe wymagania normy PN-HD 60364-6 dotyczące niektórych badań

13.4.1. Sprawdzanie ciągłości przewodów

Sprawdzenia ciągłości przewodów powinny być wykonane dla:

- a) przewodów ochronnych oraz przewodów głównych i dodatkowych połączeń wyrównawczych,
- b) przewodów fazowych i neutralnych (czynnych) w przypadku pomiarów pętli pierścieniowych obwodów odbiorczych.

W odróżnieniu od normy PN-IEC 60364-6-61 w normie nowej nie podano szczegółowych zapisów dotyczących tego sprawdzenia. Zapisano jedynie, że wartość prądu pomiarowego nie powinna stwarzać zagrożenia pożarowego i wybuchowego. Nie podano minimalnej wartości prądu pomiarowego ani zakresu dopuszczalnych wartości napięcia pomiarowego. Jednak podany wymóg stosowania przyrządów o parametrach zgodnych z normą PN-EN 61557-4:2007 oznacza, że sprawdzenie to powinno być wykonane przy zachowaniu warunków opisanych w starej normie: napięcie pomiarowe powinno być stałe lub przemienne o wartości w stanie bezobciążeniowym od 4 V do 24 V, a prąd pomiarowy powinien mieć natężenie co najmniej 0,2 A.

13.4.2. Badanie rezystancji izolacji instalacji elektrycznej

W dotychczasowej normie wymagano, aby pomiary rezystancji izolacji wykonywać pomiędzy każdą z par przewodów czynnych oraz pomiędzy każdym przewodem czynnym a uziemionym przewodem ochronnym (ochronno-neutralnym).

W nowej normie wymóg takiego wykonywania pomiarów ograniczono do pomiarów w pomieszczeniach, w których występuje zagrożenie pożarowe. Wprowadzone w normie zasady ogólne oznaczają, że pomiary rezystancji izolacji mają zapobiegać głównie zagrożeniu porażeniowemu. Zapisano w niej bowiem, że w pozostałych przypadkach pomiary rezystancji izolacji powinny być wykonane pomiędzy przewodami czynnymi, a uziemionym przewodem ochronnym. Podczas tego pomiaru przewody czynne mogą być ze sobą połączone.

W sieci TN-S pomiary powinny być wykonywane przy odłączonym od przewodu ochronno-neutralnego PEN przewodzie neutralnym. W sieci TN-C pomiar powinien być wykonywany między przewodami czynnymi (fazowymi), a przewodem PEN.

Dla każdego obwodu z odłączonymi odbiornikami rezystancja izolacji zmierzona napięciem pomiarowym o wartości zgodnej z podaną w tablicy powinna być nie mniejsza od odpowiedniej wartości podanej w tablicy 13.1.

Tablica 13.1. Minimalne wymagane wartości rezystancji izolacji obwodów instalacji elektrycznych

Napięcie znamionowe obwodu (V)	Napięcie pomiarowe d.c. (V)	Rezystancja izolacji (MΩ)
SELV lub PELV	250	$\geq 0,5$
Powyżej SELV lub PELV do 500 V włącznie oraz FELV	500	$\geq 1,0$
Powyżej 500 V	1000	$\geq 1,0$

W stosunku do wymagań starej normy wymagane minimalne wartości rezystancji izolacji dla napięć pomiarowych do 500 V włącznie zostały podwojone.

Nowością jest podanie w normie zalecanego sposobu wykonywania pomiarów rezystancji izolacji w obwodach z ogranicznikami przepięć. Zapisano, że jeżeli w badanym obwodzie są zainstalowane ograniczniki przepięć lub inne urządzenia mające wpływ na wynik pomiaru, to urządzenia te powinny zostać odłączone przed przystąpieniem do pomiaru. Gdy nie jest możliwe lub uzasadnione odłączenie takiego wyposażenia (np. w przypadku gniazdek wtyczkowych wyposażonych we wbudowane na stałe ograniczniki przepięć), to napięcie pomiarowe dla takiego obwodu może zostać zredukowane do 250 V d.c. lecz rezystancja izolacji musi mieć wartość co najmniej 1 MΩ.

W czasie pomiarów okresowych norma dopuszcza wykonanie pomiaru rezystancji izolacji całości instalacji (przy złączu) po odłączeniu odbiorników, ale przy włączonych wszystkich wyłącznikach poszczególnych obwodów odbiorczych. Jeżeli zmierzona wartość jest mniejsza od wymaganej, to instalację można podzielić na kilka grup obwodów i zmierzyć rezystancję izolacji oddzielnie dla każdej grupy. Jeżeli dla pewnej grupy rezystancja izolacji nadal jest mniejsza od wymaganej, to należy mierzyć rezystancję izolacji oddzielnie dla każdego z obwodów danej grupy aż do ustalenia obwodu o zbyt małej rezystancji izolacji.

13.4.3. Badanie ochrony przez zastosowanie SELV, PELV lub separacji elektrycznej

W obwodach SELV ochrona powinna być badana przez pomiar rezystancji izolacji pomiędzy częściami czynnymi badanego obwodu SELV a częściami czynnymi innych obwodów i ziemią. Dla obwodów PELV ochrona powinna być badana przez pomiar rezystancji izolacji pomiędzy częściami czynnymi badanego obwodu PELV a częściami czynnymi innych obwodów. W przypadku separacji obwodu ochrona powinna być badana przez pomiar rezystancji izolacji pomiędzy częściami czynnymi obwodu separowanego a częściami czynnymi innych obwodów i ziemią. W każdym z przypadków zmierzona wartość rezystancji izolacji powinna być zgodna z wymaganiami stawianymi obwodowi o najwyższym napięciu (nie podano, jakie powinno być napięcie pomiarowe – w starej normie było 500 V).

W obwodach separowanych zasilających więcej niż jeden odbiornik powinien zostać sprawdzony przypadek dwóch przypadkowych jednoczesnych zwarć (uszkodzeń):

- pomiędzy różnymi przewodami czynnymi a przewodem wyrównawczym,
- między różnymi przewodami czynnymi a częścią przewodzącą dostępną w różnych odbiornikach.

Należy zatem sprawdzić (pomiarowo lub obliczeniowo) ochronę przez samoczynne wyłączenie zasilania tak jak w obwodzie typu TN. Przy zwarciach powinno zadziałać zabezpieczenie w obwodzie odbiornika o mniejszym prądzie zadziałania w czasie zgodnym z wymaganiami dla układu TN.

13.4.4. Badanie samoczynnego wyłączenie zasilania

Skuteczność ochrony przy uszkodzeniu (ochrony przed dotykiem pośrednim) przez samoczynne wyłączenie zasilania powinna zostać sprawdzona w następujący sposób:

A. dla układu TN przez:

1) pomiar impedancji pętli zwarcia

Uwaga 1. Jeśli w instalacji występuje wyłącznik RCD o $I_{\Delta n} \leq 500$ mA, to pomiary impedancji pętli zwarcia w warunkach normalnych nie są wymagane. Również kiedy dostępne są obliczenia impedancji pętli zwarcia lub rezystancji przewodów ochronnych i kiedy układ instalacji pozwala na sprawdzenie długości i przekroju przewodów, wystarczające jest sprawdzenie ciągłości przewodów ochronnych.

Uwaga 2. Spełnienie tego warunku może zostać sprawdzone przez pomiar rezystancji przewodów ochronnych.

2) sprawdzenie charakterystyki i/lub skuteczności zastosowanych urządzeń ochronnych.

- w przypadku urządzeń nadprądowych - przez oględziny (np. typu charakterystyki i prądu znamionowego wyłączników samoczynnych lub prądu znamionowego i typu bezpieczników).
- dla wyłączników RCD - przez oględziny i próbę (pomiar różnicowego prądu zadziałania wyłącznika).

B. Dla układu TT przez:

1) pomiar rezystancji uziemienia R_A części przewodzących dostępnych

Uwaga: Jeżeli pomiar rezystancji uziemienia nie jest możliwy, można zastąpić go pomiarem rezystancji pętli zwarcia.

2) sprawdzenie charakterystyki i/lub skuteczności zastosowanych urządzeń ochronnych – jak dla układu TN.

Podczas badań w instalacji z wyłącznikami RCD zalecane jest ponadto (**nowość**) sprawdzenie czasu wyłączania tych wyłączników, jednakże wymagania te powinny być sprawdzone tylko w przypadku badań odbiorczych:

- sprawdzania ponownie używanych (zdemontowanych z innych obwodów) wyłączników,
- rozbudowy lub zmian w eksploatowanych instalacjach elektrycznych, w których stosowane uprzednio wyłączniki różnicowoprądowe mają być użyte również do wyłączania obwodów w tej rozbudowanej lub zmienionej instalacji.

Uwaga 1: Podczas sprawdzania maksymalnego czasu działania wyłączników RCD próba powinna być wykonana przy prądzie różnicowym **równym $5 I_{\Delta n}$** .

Uwaga 2: Tam, gdzie skuteczność ochrony przez samoczynne wyłączenia zasilania została potwierdzona w instalacji do miejsca zainstalowania (zacisków wejściowych) wyłącznika RCD, skuteczność ochrony w instalacji za wyłącznikiem może być sprawdzona przez pomiar ciągłości przewodów ochronnych.

Uwaga 3: W załączniku normatywnym ZA podającym szczególne warunki krajowe zapisano, odstępstwo od badania czasów wyłączania RCD. **Tak więc w Polsce podczas wykonywania sprawdzeń okresowych nie obowiązuje wykonywanie pomiaru czasu wyłączania RCD.**

13.4.5. Badanie ochrony uzupełniającej

Sprawdzenie skuteczności środków zastosowanych dla ochrony uzupełniającej wykonuje się przez oględziny i test. Tam, gdzie wymagane jest stosowanie dla ochrony uzupełniającej wyłącznika różnicowoprądowego, skuteczność samoczynnego wyłączenia zasilania przez wyłącznik powinna być sprawdzona przy użyciu odpowiednich urządzeń pomiarowych zgodnie z normą PN-EN 61557-6.

Uwaga: Gdy wyłącznik RCD jest stosowany do ochrony uzupełniającej jak również jako urządzenie wyłączające w przypadku zwarcia, to wystarczającym jest sprawdzenie go jako urządzenia wyłączającego w ochronie przez samoczynne wyłączenie zasilania.

13.5. Dokumentowanie wyników badań

Protokół z badań odbiorczych lub okresowych powinien zawierać informacje, które pozwolą powtórzyć badania, oraz wyniki badań, wyniki oceny badań i wpływające z nich wnioski a także dane identyfikacyjne osób, które wykonywały badania. Powinny to być informacje i dane dotyczące:

- rodzaju i zakresu badań,
- lokalizacji obiektu, w którym przeprowadzono badania (adres, nazwa),
- opisu oraz oznaczenia instalacji lub jej części (urządzenia), którą badano,
- zakresu wykonanych oględzin,
- oceny wyników oględzin,
- zastosowanych metod i przyrządów pomiarowych,
- zastosowanych kryteriów oceny wyników pomiarów,
- sposobu wykonywania obliczeń niezbędnych dla otrzymania z wyników pomiarów wartości końcowych służących do porównania z wartościami dopuszczalnymi,
- wyników pomiarów (najczęściej zestawionych w tabeli),
- oceny wyników pomiarów,
- wniosków wpływających z oceny wyników oględzin, pomiarów i prób,
- daty i warunków wykonywanych pomiarów,
- daty następnych badań okresowych,
- dane osobowe i dane identyfikacyjne uprawnień osób wykonujących badania,
- oceny i wnioski oraz podpisy.

Informacje jakie powinien zawierać protokół, mogą być rozszerzone lub skrócone w zależności od tego co jest badane i co jest niezbędne, aby uzyskać pełny obraz przeprowadzonych badań i obliczeń.

Norma PN-HD 60364-6 podaje, że częstość badań okresowych powinna zostać określona w zależności od typu i wyposażenia instalacji, jej przeznaczenia i sposobu eksploatacji, częstości i jakości obsługi (serwisu) oraz wpływów zewnętrznych. Maksymalny okres pomiędzy badaniami okresowymi może być określony przez prawo lub inne regulacje krajowe. W przypadkach, gdy występuje wyższy stopień zagrożenia, może być wymagany krótszy okres między badaniami, np. w przypadku:

- miejsc pracy lub pomieszczeń o dużym zagrożeniu porażeniowym, pożarowym lub wybuchowym,
- miejsc pracy lub pomieszczeń, w których występują równocześnie instalacje niskiego i wysokiego napięcia,
- miejsc ogólnodostępnych,
- placów budów,
- instalacji bezpieczeństwa (np. oświetlenia awaryjnego).

W obiektach mieszkalnych dopuszczalny może być dłuższy okres (np. 10 lat). Zalecane jest dodatkowe badanie instalacji w przypadku zmiany użytkownika (właściciela) obiektu.

W przypadku instalacji będącej skutecznie nadzorowanej w celu prewencyjnego serwisowania w czasie normalnej pracy, możliwe jest zastąpienie badań okresowych ciągłym monitorowaniem i nadzorem nad instalacją i całym osprzętem wchodzącym w jej skład przez wykwalifikowany personel. Odpowiednie raporty powinny być zachowywane.

14. ORGANIZACJA BEZPIECZNEJ PRACY PRZY URZĄDZENIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH

14.1. Wymagania ogólne

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach i instalacjach energetycznych z 1999 r. (obowiązującym od 08.04.2000 r.) każde urządzenie i instalacja elektryczna przed dopuszczeniem do eksploatacji powinny posiadać wymagany odrębnymi przepisami certyfikat na znak bezpieczeństwa, albo posiadać deklarację zgodności z Polskimi Normami wprowadzonymi do obowiązkowego stosowania oraz wymaganymi określonymi w odrębnych przepisach.

Urządzenia i instalacje elektryczne powinny być eksploatowane tylko przez **upoważnionych pracowników** z zachowaniem postanowień określonych w instrukcjach eksploatacji.

Uwaga: Wymagania rozporządzenia nie dotyczą prac przy urządzeniach i instalacjach elektroenergetycznych o napięciu do 50 V prądu przemiennego i 120 V prądu stałego oraz przy urządzeniach elektrycznych powszechnego użytku).

Rozporządzenie MG rozróżnia:

- **pracowników uprawnionych**, tj. pracowników posiadających sprawdzone i właściwe kwalifikacje w zakresie eksploatacji danego rodzaju urządzeń i instalacji, potwierdzone świadectwem kwalifikacyjnym,
- **pracowników upoważnionych**, tj. pracowników, którzy w ramach swoich obowiązków służbowych lub na podstawie polecenia służbowego wykonują określone prace,
- **zespół pracowników**, tj. grupę pracowników w skład której wchodzi co najmniej dwie osoby wykonujące pracę,
- **zespół pracowników kwalifikowanych**, tj. grupę pracowników, w której co najmniej połowa, lecz nie mniej niż dwie osoby, posiadają ważne świadectwa kwalifikacyjne.

Zabronione jest:

- eksploatowanie urządzeń i instalacji energetycznych bez przewidzianych dla tych urządzeń i instalacji środków ochrony i zabezpieczeń,
- dokonywanie zmian środków ochrony i zabezpieczeń przez osoby nieupoważnione.

Urządzenia, instalacje energetyczne lub ich części, przy których będą prowadzone prace konserwacyjne, remontowe lub modernizacyjne, powinny być wyłączone z ruchu, pozbawione czynników stwarzających zagrożenia i skutecznie zabezpieczone przed przypadkowym uruchomieniem oraz oznakowane. Powinny też być wyłączone urządzenia stwarzające zagrożenie w miejscu wykonywania pracy, ale znajdujące się poza tym stanowiskiem. Wymagania te nie dotyczą prac, dla których zastosowana technologia nie przewiduje wyłączeń z ruchu.

Prace w warunkach szczególnego zagrożenia dla zdrowia i życia ludzkiego (określone w ogólnych przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy jako prace szczególnie niebezpieczne) **powinny być wykonywane przez co najmniej dwie osoby**, z wyjątkiem prac eksploatacyjnych z zakresu prób i pomiarów, konserwacji i napraw urządzeń i instalacji elektroenergetycznych o napięciu znamionowym do 1 kV wykonywanych przez osobę wyznaczoną na stałe do tych prac w obecności pracownika asekurującego, przeszkolonego w udzielaniu pierwszej pomocy. Rodzaje prac, które powinny być wykonywane przynajmniej przez dwie osoby, określają osobne przepisy. Przepisy określają też rodzaje prac, dla których wykonywania wymagana jest od pracownika **szczególna sprawność psychofizyczna**. Pracami takimi są między innymi prace:

- przy montażu i remoncie sieci trakcyjnej,
- przy liniach napowietrznych niskich, średnich i wysokich napięć.

Do prac wykonywanych przy urządzeniach i instalacjach energetycznych w warunkach szczególnego zagrożenia dla zdrowia i życia ludzkiego należy zaliczyć w szczególności prace:

- konserwacyjne, modernizacyjne i remontowe przy urządzeniach elektroenergetycznych znajdujących się pod napięciem,
- wykonywane w pobliżu nieosłoniętych ww. urządzeń lub ich części, znajdujących się pod napięciem,
- przy wyłączonych spod napięcia, lecz nie uziemionych urządzeniach elektroenergetycznych lub uziemionych w taki sposób, że żadne z uziemień (uziemiaczy) nie jest widoczne z miejsca pracy,
- przy opuszczaniu i zawieszaniu przewodów na wyłączonych spod napięcia elektroenergetycznych liniach napowietrznych, w przęsłach krzyżujących drogi kołowe, wodne i kołowe,
- związane z identyfikacją i przecinaniem kabli elektroenergetycznych,
- przy wyłączonym spod napięcia torze dwutorowej elektroenergetycznej linii napowietrznej o napięciu 1 kV i powyżej, jeśli drugi tor linii pozostaje pod napięciem,
- przy wyłączonych spod napięcia lub znajdujących się w budowie elektroenergetycznych liniach napowietrznych, które krzyżują się w strefie ograniczonej uziemieniami ochronnymi z liniami znajdującymi się pod napięciem lub mogącymi znaleźć się pod napięciem i przewodami trakcji elektrycznej,
- przy wykonywaniu prób i pomiarów, z wyłączeniem prac wykonywanych stale przez upoważnionych pracowników w ustalonych miejscach.

14.2. Kwalifikacje osób

Eksplatację urządzeń, instalacji i sieci mogą zajmować się wyłącznie osoby, które spełniają wymagania kwalifikacyjne dla następujących rodzajów prac i stanowisk pracy:

- 1) **eksploatacji** - do których zalicza się stanowiska osób wykonujących prace w zakresie obsługi, konserwacji, remontów, montażu i kontrolno-pomiarowym;
- 2) **dozoru** - do których zalicza się stanowiska osób kierujących czynnościami osób wykonujących prace w zakresie określonym w pkt 1) oraz stanowiska pracowników technicznych sprawujących nadzór nad eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci.

Prace te dotyczą wykonywania następujących czynności:

- 1) **w zakresie obsługi** – mających wpływ na zmiany parametrów pracy obsługiwanych urządzeń, instalacji i sieci z zachowaniem zasad bezpieczeństwa i wymagań ochrony środowiska,-
- 2) **w zakresie konserwacji** – związanych z zabezpieczeniem i utrzymaniem należytego stanu technicznego urządzeń, instalacji i sieci -;
- 3) **w zakresie remontów** – związanych z usuwaniem usterek, uszkodzeń oraz remontami urządzeń, instalacji i sieci w celu doprowadzenia ich do wymaganego stanu technicznego,
- 4) **w zakresie montażu** – niezbędnych do instalowania i przyłączania urządzeń, instalacji i sieci,
- 5) **w zakresie kontrolno-pomiarowym** – niezbędnych do dokonania oceny stanu technicznego, parametrów eksploatacyjnych, jakości regulacji i sprawności energetycznej urządzeń, instalacji i sieci.

Nie wymaga się potwierdzenia posiadania kwalifikacji w zakresie obsługi urządzeń i instalacji u użytkowników eksploatujących:

- 1) urządzenia elektryczne o napięciu nie wyższym niż 1 kV i mocy znamionowej nie wyższej niż 20 kW, jeżeli w dokumentacji urządzenia określono zasady jego obsługi,
- 2) urządzenia lub instalacje cieplne o mocy zainstalowanej nie wyższej niż 50 kW.

Wymagania kwalifikacyjne dla osób zajmujących się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci elektroenergetycznych obejmują znajomość:

1) przez osoby na stanowiskach eksploatacji:

- a) zasad budowy, działania oraz warunków technicznych obsługi urządzeń, instalacji i sieci elektroenergetycznych
- b) zasad eksploatacji oraz instrukcji eksploatacji urządzeń, instalacji i sieci elektroenergetycznych,
- c) zasad i warunków wykonywania prac kontrolno-pomiarowych i montażowych,
- d) zasad i wymagań bezpieczeństwa pracy i bezpieczeństwa przeciwpożarowego oraz umiejętności udzielania pierwszej pomocy,
- e) instrukcji postępowania w razie awarii, pożaru lub innego zagrożenia bezpieczeństwa obsługi urządzeń lub zagrożenia życia, zdrowia i środowiska.

2) przez osoby na stanowiskach dozoru:

- a) przepisów w zakresie przyłączania urządzeń i instalacji do sieci, dostarczania paliw i energii oraz prowadzenia ruchu i eksploatacji urządzeń, instalacji i sieci,
- b) przepisów i zasad postępowania przy programowaniu pracy urządzeń, instalacji i sieci, z uwzględnieniem zasad racjonalnego użytkowania paliw i energii,
- c) przepisów w zakresie eksploatacji, wymagań w zakresie prowadzenia dokumentacji technicznej i eksploatacyjnej oraz stosowania instrukcji eksploatacji urządzeń, instalacji i sieci,
- d) przepisów dotyczących budowy urządzeń, instalacji i sieci oraz norm i warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać te urządzenia, instalacje i sieci,
- e) przepisów dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy oraz ochrony przeciwpożarowej, z uwzględnieniem udzielania pierwszej pomocy oraz wymagań ochrony środowiska,
- f) zasad postępowania w razie awarii, pożaru lub innego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu urządzeń przyłączonych do sieci,
- g) zasad dysponowania mocą urządzeń przyłączonych do sieci,
- h) zasad i warunków wykonywania prac kontrolno-pomiarowych i montażowych.

W „Załączniku nr 1” do Rozporządzenia zestawione są następujące urządzenia, instalacje i sieci energetyczne, przy eksploatacji których wymagane jest posiadanie poświadczonych kwalifikacji:

Grupa 1. Urządzenia, instalacje i sieci elektroenergetyczne wytwarzające, przetwarzające, przesyłające i zużywające energię elektryczną:

- 1) urządzenia prądotwórcze przyłączone do krajowej sieci elektroenergetycznej bez względu na wysokość napięcia znamionowego;
- 2) urządzenia, instalacje i sieci elektroenergetyczne o napięciu nie wyższym niż 1 kV;
- 3) urządzenia, instalacje i sieci o napięciu znamionowym powyżej 1 kV;
- 4) zespoły prądotwórcze o mocy powyżej 50 kW;
- 5) urządzenie elektrotermiczne;
- 6) urządzenia do elektrolizy;
- 7) sieci elektrycznego oświetlenia ulicznego;
- 8) elektryczna sieć trakcyjna;
- 9) elektryczne urządzenia w wykonaniu przeciwwybuchowym;
- 10) aparatura kontrolno-pomiarowa oraz urządzenia i instalacje automatycznej regulacji; sterowania i zabezpieczeń urządzeń i instalacji wymienionych w pkt 1-9;
- 11) urządzenia techniki wojskowej lub uzbrojenia;
- 12) urządzenia ratowniczo-gaśnicze i ochrony granic.

Grupa 2. Urządzenia wytwarzające, przetwarzające, przesyłające i zużywające ciepło oraz inne urządzenia energetyczne:

- 1) kotły parowe oraz wodne na paliwa stałe, płynne i gazowe, o mocy powyżej 50 kW, wraz z urządzeniami pomocniczymi;
- 2) sieci i instalacje cieplne wraz z urządzeniami pomocniczymi, o przesyłce ciepła powyżej 50 kW;
- 3) turbiny parowe oraz wodne o mocy powyżej 50 kW, wraz z urządzeniami pomocniczymi;
- 4) przemysłowe urządzenia odbiorcze pary i gorącej wody, o mocy powyżej 50 kW;
- 5) urządzenia wentylacji, klimatyzacji i chłodnicze, o mocy powyżej 50 kW;
- 6) pompy, ssawy, wentylatory i dmuchawy, o mocy powyżej 50 kW;
- 7) sprężarki o mocy powyżej 20 kW oraz instalacje sprężonego powietrza i gazów technicznych;
- 8) urządzenia do składowania, magazynowania i rozładunku paliw, o pojemności składowania odpowiadającej masie ponad 100 Mg;
- 9) piece przemysłowe o mocy powyżej 50 kW;
- 10) aparatura kontrolno-pomiarowa i urządzenia automatycznej regulacji do urządzeń i instalacji wymienionych w pkt 1-9;
- 11) urządzenia techniki wojskowej lub uzbrojenia;
- 12) urządzenia ratowniczo-gaśnicze i ochrony granic.

Grupa 3. Urządzenia, instalacje i sieci gazowe wytwarzające, przetwarzające, przesyłające, magazynujące i zużywające paliwa gazowe:

- 1) urządzenia do produkcji paliw gazowych, generatory gazu;
- 2) urządzenia do przetwarzania i uzdatniania paliw gazowych, rozkładanie paliw gazowych, urządzenia przeróbki gazu ziemnego, oczyszczalnie gazu, rozprężalnie i rozlewnie gazu płynnego, odazotownie, mieszalnie;
- 3) urządzenia do magazynowania paliw gazowych;
- 4) sieci gazowe przesyłowe o ciśnieniu nie wyższym niż 0,5 MPa (gazociągi i punkty redukcyjne, stacje gazowe);
- 5) sieci gazowe rozdzielcze o ciśnieniu powyżej 0,5 MPa (gazociągi, stacje gazowe, tłocznie gazu);
- 6) urządzenia i instalacje gazowe o ciśnieniu nie wyższym niż 5 kPa;
- 7) urządzenia i instalacje gazowe o ciśnieniu powyżej 5 kPa;
- 8) przemysłowe odbiorniki paliw gazowych o mocy powyżej 50 kW;
- 9) turbiny gazowe;
- 10) aparatura kontrolno-pomiarowa, urządzenia sterowania do sieci, urządzeń i instalacji wymienionych w pkt 1-9.

14.3. Podział prac przy urządzeniach i instalacjach elektrycznych w zależności od zbliżenia do części czynnych będących pod napięciem

Podział prac w zależności od zastosowanych metod i środków zapewniających bezpieczeństwo pracy przedstawiono na rys. 1. Odległości wokół nieosłoniętych urządzeń i instalacji elektroenergetycznych lub ich części znajdujących się pod napięciem, wyznaczające granice stref w pobliżu napięcia i strefy prac pod napięciem, zestawiono w tablicy 14.1.

Prace przy urządzeniach i instalacjach elektrycznych dzielą się na prace:

- przy całkowicie wyłączonym napięciu
- w pobliżu napięcia
- pod napięciem

Prace pod napięciem należy wykonywać w oparciu o właściwą technologię pracy i przy zastosowaniu wymaganych narzędzi i środków ochronnych, określonych w instrukcji wykonywania tych prac.

Prace w pobliżu napięcia powinny być wykonywane przy użyciu środków ochronnych odpowiednich do występujących warunków pracy.

Prace przy wyłączonym napięciu to prace przy urządzeniach i instalacjach oddzielonych od części zasilających (pod napięciem) **przerwą izolacyjną**.

Za wymienioną wyżej przerwę izolacyjną uważa się:

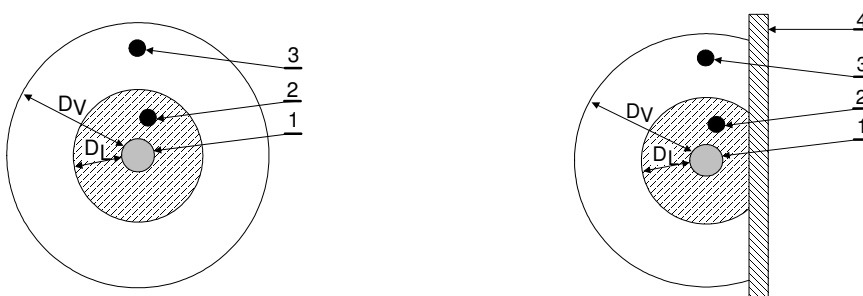
- otwarte zestyki łącznika w odległości określonej w Polskiej Normie lub w dokumentacji producenta,
- wyjęte wkładki bezpiecznikowe,
- zdemontowanie części obwodu zasilającego,
- przerwanie ciągłości połączenia obwodu zasilającego w łącznikach o obudowie zamkniętej, stwierdzone w sposób jednoznaczny w oparciu o położenie wskaźnika odwzorowującego otwarcie wyłącznika.

Tablica 14.1. Odległości wyznaczające granice stref w pobliżu napięcia i stref prac pod napięciem

Napięcie znamionowe urządzenia		STREFA:	
		prac pod napięciem ¹⁾	prac w pobliżu napięcia ¹⁾
kV		m	m
do 1	urządzenia wewnętrzne i stacyjne	nie normuje się	
	linie napowietrzne	do 0,3 (0,3)	powyżej 0,3 do 0,7 (1,65)
powyżej 1 do 30		do 0,6 (0,65)	powyżej 0,6 do 1,4 (2,0)
110		do 1,1 (1,8)	powyżej 1,1 do 2,1 (3,3)
220		do 2,5 (2,5)	powyżej 2,5 do 4,1 (4,4)
400		do 3,5 (3,5)	powyżej 3,5 do 5,4 (5,0)
750		do 6,4 (4,6)	powyżej 6,4 do 8,4 (7,0)

¹⁾ w nawiasach podano odpowiednie wartości z „Instrukcji bezpiecznej pracy w energetyce” opracowanej przez Instytut Energetyki

Na rysunku 14.1 przedstawiono sposób określania zasięgu stref prac pod napięciem D_L i prac w pobliżu napięcia D_V .



Rys. 14.1. Strefy prac pod napięciem i prac w pobliżu napięcia: 1 – nieosłonięta część pod napięciem, 2 – strefa prac pod napięciem, 3 – strefa prac w pobliżu napięcia; 4 – powierzchnia zewnętrzna osłony izolacyjnej; D_L – odległość wyznaczająca zewnętrzną granicę strefy pracy pod napięciem, D_V – odległość wyznaczająca zewnętrzną granicę strefy pracy w pobliżu napięcia

14.4. Podział prac na czynnych urządzeniach i instalacjach elektrycznych w zależności od rodzaju wymaganego polecenia

Prace na czynnych urządzeniach i instalacjach elektroenergetycznych mogą być wykonywane:

1. Na polecenie pisemne
 - a) Prace w warunkach szczególnego zagrożenia zdrowia i życia ludzkiego.
 - b) Prace wykonywane przez pracowników nie będących pracownikami zakładu prowadzącego eksploatację danego urządzenia i instalacji (z wyjątkiem prac, dla których czynności związane z dopuszczeniem do pracy ustalono odrębnie na piśmie).
2. Na polecenie ustne - w rozporządzeniu MG brak zapisu czynności, które mogą być wykonywane na polecenie ustne; należy rozumieć, że na polecenie ustne mogą być wykonywane prace, dla których nie jest wymagane polecenie pisemne, lub które dopuszcza się wykonywać bez polecenia.
3. Bez polecenia
 - a) Czynności związane z ratowaniem zdrowia i życia ludzkiego.
 - b) Prace dla zabezpieczenia urządzeń i instalacji przed zniszczeniem
 - c) Prace eksploatacyjne określone w instrukcjach, prowadzone przez uprawnione i upoważnione osoby.

14.5. Pracownicy odpowiedzialni za organizację i wykonanie pracy

W tablicach 14.2 i 14.3 zestawiono wymienione w Rozporządzeniu MG funkcje osób odpowiedzialnych za organizację i wykonanie pracy oraz stawiane im wymagania.

Rozporządzenie MG wymienia obowiązki pracodawcy wobec pracowników, niezbędne dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy. Pracodawca jest obowiązany, zgodnie z odrębnymi przepisami, zapoznać pracowników z:

- ryzykiem zawodowym i zagrożeniami dla zdrowia i życia pracowników, które występują na danym stanowisku pracy, oraz zastosowanymi środkami likwidującymi lub ograniczającymi to ryzyko i zagrożenia,
- szczegółowymi instrukcjami z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy dotyczącymi wykonywanych przez nich prac.

14.6. Polecenie wykonania pracy

Polecenie wykonania pracy powinno w szczególności uwzględniać:

- zakres, rodzaj, miejsce i termin pracy,
- środki i warunki do bezpiecznego wykonywania pracy,
- liczbę pracowników skierowanych do pracy,
- pracowników odpowiedzialnych za organizację i wykonanie pracy, pełniących funkcję:
- koordynującego lub dopuszczającego, przez podanie stanowiska służbowego lub imiennie,
- kierownika robót, nadzorującego lub kierującego zespołem pracowników – imiennie,
- planowane przerwy w pracy.

Polecenie pisemne wykonania pracy powinno być wystawiane:

- kierującemu zespołem lub nadzorującemu i przekazane dopuszczającemu,
- na prace wykonywane przez jeden zespół w jednym miejscu pracy.

Dozwolone jest przekazywanie polecenia pisemnego środkami łączności. Dozwolone jest też wystawianie jednego polecenia pisemnego na takie same prace wykonywane przez jeden zespół pracowników kolejno w innych miejscach pracy, gdy zespół pracuje w tym samym czasie tylko w jednym miejscu a warunki bezpiecznego wykonania pracy są takie same we wszystkich miejscach.

Polecenie wykonania pracy jest ważne na czas określony przez poleceniodawcę. W razie potrzeby poleceniodawca może w poleceniu dokonać zmiany uprzednio podanych terminów wykonania pracy oraz zmiany liczby pracowników w składzie zespołu. W poleceniu pisemnym wykonania pracy zmiana terminów i liczby pracowników powinna być odnotowana w odpowiedniej rubryce. Prowadzący eksploatację urządzeń i instalacji jest obowiązany prowadzić wykaz poleceniodawców określający zakres udzielanego upoważnienia.

Polecenia wykonywania pracy powinny być rejestrowane przez poleceniodawcę w rejestrze poleceń, przy czym, w przypadku polecenia ustnego, powinna być odnotowana jego treść. Formę ewidencji poleceń ustala pracodawca. Polecenia pisemne wykonania prac należy przechowywać przez okres 30 dni od daty zakończenia pracy.

Po dopuszczeniu do pracy oryginał polecenia pisemnego powinien być przekazany kierownikowi robót lub kierującemu zespołem pracowników, lub nadzorującemu, a kopia polecenia powinna pozostawać u dopuszczającego.

Tablica 14.2. Pracownicy odpowiedzialni za organizację i wykonanie pracy oraz stawiane im wymagania

Pełniona funkcja	Wymagania stawiane pracownikom w zależności od pełnionej funkcji dotyczące:	
	świadczenia kwalifikacyjnego	zatrudnienia
Poleceniodawca	D	Prowadzący eksploatację urządzeń i instalacji lub upoważniony przez niego pracownik. W okresie wykonywania prac remontowych lub modernizacyjnych przy nieczynnych urządzeniach i instalacjach obowiązki poleceniodawcy mogą być przekazywane wykonawcy tych prac o ile obowiązki te określono w zawartej z nim umowie na piśmie.
Koordynujący	D	Wyznaczony przez poleceniodawcę pracownik komórki organizacyjnej sprawujący dozór nad eksploatacją i ruchem urządzeń i instalacji, przy których będzie wykonywana praca. W przypadkach, gdy dozór nad ruchem urządzeń i instalacji, o których mowa wyżej, jest prowadzona przez różne komórki organizacyjne zakładu, koordynującym powinna być osoba z kierownictwa jednej z tych komórek. Jeżeli dozór nad ruchem urządzeń i instalacji, przy których będzie wykonywana praca, sprawowany jest przez poleceniodawcę, koordynującym powinien być sam poleceniodawca.
Dopuszczający	E	Wyznaczony przez poleceniodawcę pracownik posiadający pi-semne upoważnienie przez prowadzącego eksploatację urządzeń i instalacji, do wykonywania czynności łączeniowych w celu przygotowania miejsca pracy.
Nadzorujący	D lub E	Wyznaczony przez poleceniodawcę pracownik wykonujący wyłącznie czynności nadzoru. Uwaga: Nadzorujący jest wyznaczany, gdy: - prace wykonywać będzie zespół pracowników nie będący ze-społem pracowników kwalifikowanych lub kierujący zespołem nie posiada świadectwa kwalifikacyjnego, - poleceniodawca uzna to za konieczne ze względu na szczególny charakter i warunki pracy
Kierujący zespołem pracowników	E ¹⁾ lub bez ²⁾	Wyznaczony przez poleceniodawcę pracownik do kierowania zespołem pracowników.
Kierownik robót	D	Wyznaczony przez poleceniodawcę pracownik do koordynacji prac zespołów pracowników, gdy w jednym obiekcie pracuje więcej niż jeden zespół pracowników.
1) gdy pracownik kieruje zespołem pracowników kwalifikowanych, 2) gdy pracownik kieruje zespołem nie będącym zespołem pracowników kwalifikowanych		

Tablica 14.3. Pracownicy odpowiedzialni za organizację i wykonanie pracy oraz zakres ich obowiązków

Pełniona funkcja	Obowiązki
Poleceniodawca	wydanie polecenia na wykonywanie pracy
Koordynujący	1) koordynowanie wykonywania prac, określonych w poleceniu, z ruchem urządzeń i instalacji, 2) określenie czynności łączeniowych związanych z przygotowaniem miejsca pracy, 3) wydanie zezwolenia na przygotowanie miejsca pracy, dopuszczenie do pracy i likwidację miejsca pracy, 4) podjęcie decyzji o uruchomieniu urządzeń i instalacji, przy których była wykonywana praca, 5) zapisanie w dokumentacji eksploatacji ustaleń wynikających z pkt. od 1) do 4).
Dopuszczający	1) przygotowanie miejsca pracy, 2) dopuszczenie do wykonania pracy, 3) sprawdzenie wykonania pracy, 4) zlikwidowanie miejsca pracy po jej zakończeniu
Nadzorujący	1) sprawdzenie przygotowania miejsca pracy i jego przejęcie od dopuszczającego, jeżeli zostało przygotowane właściwie, 2) zaznajomienie nadzorowanych pracowników z warunkami bezpiecznego wykonywania pracy, 3) sprawowanie ciągłego nadzoru nad pracownikami, aby nie przekraczali granicy wyznaczonego miejsca pracy, 4) powiadomienie dopuszczającego lub koordynującego o zakończeniu pracy
Kierujący zespołem pracowników: -kwalifikowanych: obowiązki wg pkt. od 1) do 7) - nie posiadających kwalifikacji, obowiązki wg pkt. 1) i od 4) do 6)	1) dobór pracowników o umiejętnościach zawodowych odpowiednich do wykonywania poleconej pracy, 2) sprawdzenie przygotowania miejsca pracy i przejęcie go od dopuszczającego, jeżeli zostało przygotowane właściwie, 3) zaznajomienie podległych pracowników ze sposobem przygotowania miejsca pracy, występującymi zagrożeniami w miejscu pracy i w bezpośrednim sąsiedztwie oraz warunkami i metodami bezpiecznego wykonywania pracy, 4) zapewnienie wykonywania pracy w sposób bezpieczny, 5) egzekwowanie od członków zespołu stosowania właściwych środków ochrony indywidualnej, odzieży i obuwia roboczego oraz właściwych narzędzi i sprzętu, 6) nadzorowanie przestrzegania przez podległych pracowników przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy w czasie wykonywania pracy, 7) powiadomienie dopuszczającego lub koordynującego o zakończeniu pracy
Kierownik robót	koordynowanie pracy różnych zespołów pracowników, w celu wyeliminowania zagrożeń wynikających z ich jednoczesnej pracy w jednym obiekcie

14.7. Przygotowanie miejsca pracy

Przygotowanie miejsca pracy dokonuje osoba pełniąca funkcję dopuszczającego. Przygotowanie miejsca pracy polega na:

- 1) uzyskaniu zezwolenia na rozpoczęcie przygotowania miejsca pracy od koordynującego, jeżeli został on wyznaczony,
- 2) uzyskaniu od koordynującego potwierdzenia o wykonaniu niezbędnych przełączeń oraz zezwolenia na dokonanie przełączeń i założenia odpowiednich urządzeń zabezpieczających, przewidzianych do wykonania przez dopuszczającego,
- 3) wyłączeniu urządzeń z ruchu w zakresie określonym w poleceniu i uzgodnionym z koordynującym,
- 4) zablokowaniu napędów łącznika w sposób uniemożliwiający przypadkowe uruchomienie wyłączonych urządzeń,
- 5) sprawdzeniu, czy w miejscu pracy w wyłączonych urządzeniach zostało usunięte zagrożenie – napięcie,
- 6) zastosowaniu wymaganych zabezpieczeń na wyłączonych urządzeniach – uziemień,

- 7) założeniu ogrodzeń i osłon w miejscu pracy stosownie do występujących potrzeb,
- 8) oznaczeniu miejsca pracy i wywieszeniu tablic ostrzegawczych – w tym również w miejscach zdalnego sterowania napędami wyłączonych urządzeń („Nie załączać”).

Przy wykonywaniu czynności związanych z przygotowaniem miejsca pracy może brać udział, pod nadzorem dopuszczającego, członek zespołu, który będzie wykonywał pracę, jeżeli jest pracownikiem uprawnionym.

Za odpowiednie **zabezpieczenia przed przypadkowym załączeniem napięcia** uznaje się:

- 1) w urządzeniach o napięciu znamionowym do 1 kV: wyjęcie wkładek bezpiecznikowych w obwodzie zasilającym lub zablokowanie napędu otwartego łącznika,
- 2) w urządzeniach o napięciu znamionowym powyżej 1 kV: unieruchomienie (otwartych styków) i zablokowanie napędów łączników lub wstawienie przegród izolacyjnych między otwarte styki łączników.

W przypadku konieczności wykonania uziemień części czynnych, należy je wykonać tak, aby miejsce pracy znajdowało się w strefie ograniczonej uziemieniami; co najmniej jedno uziemienie powinno być widoczne z miejsca pracy. Jeżeli nie jest możliwe wykonanie uziemień w podany wyżej sposób, dopuszcza się zastosowanie innych środków technicznych i organizacyjnych zapewniających bezpieczeństwo pracy. W takim przypadku poleceniodawca jest obowiązany umieścić odpowiedni zapis o zastosowaniu ww. innych środków.

Przy wykonywaniu prac na liniach napowietrznych, które krzyżują się w strefie ograniczonej omawianymi uziemieniami z liniami znajdującymi się pod napięciem lub znajdującymi się w pobliżu takich linii, należy krzyżujące lub sąsiednie linie wyłączyć również spod napięcia i uziemić lub zastosować inne środki techniczno-organizacyjne niezbędne dla bezpiecznego wykonywania pracy.

Podczas prac wykonywanych przy wyłączonym torze dwutorowej elektroenergetycznej linii napowietrznej o napięciu znamionowym 110, 220 i 400 kV, należy, podobnie jak w Instrukcji:

- 1) tor linii, na którym będą wykonywane prace, wyłączyć spod napięcia i uziemić we wszystkich punktach zasilania oraz założyć uziemiacze na przewody robocze na najbliższych słupach ograniczających miejsce pracy,
- 2) zablokować automatykę SPZ na torze pozostającym pod napięciem, a w miejscu pracy oznaczyć tor pozostający pod napięciem,
- 3) założyć dodatkowe uziemiacze:
 - a) na przewody robocze na każdym słupie, na którym wykonywane są prace wymagające dotykania przewodów roboczych,
 - b) po obu stronach mostka przewodu roboczego przy jego rozłączeniu lub łączeniu,
 - c) na przewód odgromowy w miejscu wykonywania na nim prac w warunkach przerywania metalicznego połączenia przewodu odgromowego z konstrukcją słupa.

Przy pracach wykonywanych przy wyłączonej jednotorowej linii napowietrznej należy założyć dodatkowe uziemiacze, jeżeli przebiega ona równolegle na odcinkach o łącznej długości większej niż 2 km od elektroenergetycznej linii napowietrznej o napięciu znamionowym podobnie jak w Instrukcji :

- 1) 110 kV – w odległości mniejszej niż 100 m,
- 2) 220 kV – w odległości mniejszej niż 150 m,
- 3) 400 kV – w odległości mniejszej niż 200 m,
- 4) 750 kV – w odległości mniejszej niż 250 m.

14.8. Dopuszczenie do pracy

Dopuszczenie do pracy tak jak i przygotowanie miejsca pracy dokonuje osoba pełniąca funkcję dopuszczającego. Dopuszczenie do pracy dozwolone jest po przygotowaniu miejsca pracy i polega ono na:

- 1) sprawdzeniu przygotowania miejsca pracy przez dopuszczającego i kierującego zespołem pracowników lub nadzorującego,
- 2) wskazaniu zespołowi pracowników miejsca pracy,
- 3) pouczeniu zespołu pracowników o warunkach pracy oraz wskazaniu zagrożeń występujących w sąsiedztwie miejsca pracy,
- 4) udowodnieniu, że w miejscu pracy zagrożenie nie występuje,
- 5) potwierdzeniu dopuszczenia do pracy podpisem w odpowiednich rubrykach dwóch egzemplarzy polecenia pisemnego lub w przypadku polecenia ustnego – w dzienniku operacyjnym, prowadzonym przez dopuszczającego.

14.9. Wykonywanie pracy

Prace przy urządzeniach i instalacjach elektrycznych mogą być wykonywane tylko przy zastosowaniu **sprawdzonych metod i technologii**. Dopuszcza się wykonywanie prac przy zastosowaniu nowych metod i technologii, pod warunkiem wykonywania tych prac w oparciu o opracowane specjalnie dla nich instrukcje. Zabronione jest wykonywanie prac na napowietrznych liniach elektroenergetycznych, stacjach i rozdzielniach oraz na wysokich konstrukcjach w czasie wyładowań atmosferycznych.

Podczas oględzin pracujących urządzeń i instalacji zabronione jest również wykonywanie jakichkolwiek prac wymagających zdejmowania osłon i barier ochronnych, otwieranie celek, wchodzenie na konstrukcje oraz zbliżanie się do nieosłoniętych części urządzeń i instalacji znajdujących się pod napięciem na odległość mniejszą niż odległość określona w ust. 2 par. 55 omawianego rozporządzenia i przedstawioną w tabeli 10.1.

Przy wykonywaniu prac na polecenie, zabronione jest:

- 1) rozszerzenie pracy poza zakres i miejsce określone w poleceniu,
- 2) dokonywanie zmian połączenia napędów, aparatury i armatury odcinającej, użytej do przygotowania miejsca pracy, usuwanie ogrodzeń, osłon, barier, zaślepek i tablic ostrzegawczych oraz zdejmowanie uziemiaczy, jeżeli ich zdjęcie nie zostało przewidziane w poleceniu.

Przy wykonywaniu pracy przez jeden zespół pracowników kolejno w kilku miejscach pracy, dopuszczenie w nowym miejscu pracy może nastąpić po zakończeniu pracy w poprzednim miejscu. Samowolna zmiana miejsca pracy jest niedozwolona.

14.10. Przerwanie i wznowienie pracy

W razie konieczności opuszczenia miejsca pracy przez kierującego zespołem pracownika lub nadzorującego, dalsze wykonywanie prac powinno być przerwane, zespół pracowników wyprowadzony z miejsca pracy, a miejsce pracy odpowiednio zabezpieczone przed dostępem osób postronnych.

Po przerwaniu pracy wykonywanej na polecenie, jej wznowienie może nastąpić po ponownym dopuszczeniu do pracy. Nie wymaga się ponownego dopuszczenia do pracy po przerwie, jeżeli w czasie trwania przerwy zespół pracowników nie opuścił miejsca pracy lub miejsce pracy na czas opuszczenia go przez zespół pracowników zostało zabezpieczone przed dostępem osób postronnych. Kierujący zespołem pracowników lub nadzorujący, przed wznowieniem pracy, po przerwie nie wymagającej ponownego dopuszczenia, jest obowiązany do dokładnego zabezpieczenia miejsca pracy. Jeżeli podczas sprawdzania, o którym mowa w ust. 2 zostanie stwierdzona zmiana tego zabezpieczenia, **wznówienie pracy jest niedozwolone. O decyzji wstrzymania pracy** kierujący zespołem pracowników lub nadzorujący **powinien**

niezwłocznie powiadomić dopuszczającego lub koordynującego oraz odnotować przerwę w poleceniu pisemnym wykonania pracy.

O przerwie w pracy wymagającej ponownego dopuszczenia do pracy, przed jej wznowieniem, kierujący zespołem pracowników lub nadzorujący obowiązany jest powiadomić dopuszczającego lub koordynującego, a w razie wykonywania prac na polecenie pisemne, przekazać to polecenie dopuszczającemu lub koordynującemu po uprzednim podpisaniu. Jeżeli w czasie przerwy w pracy przewidywana jest likwidacja miejsca pracy, kierujący zespołem pracowników obowiązany jest, przed jego opuszczeniem przez zespół pracowników usunąć z niego materiały, narzędzia i sprzęt oraz powiadomić o tym dopuszczającego lub koordynującego.

14.11. Zakończenie pracy i uruchomienie urządzeń

Zakończenie pracy na polecenie następuje, jeżeli cały zakres pracy przewidziany poleceniem został w pełni wykonany.

Po zakończeniu pracy:

- 1) kierujący zespołem pracowników** jest obowiązany:
 - a) zapewnić usunięcie materiałów, narzędzi oraz sprzętu,
 - b) wyprowadzić zespół pracowników z miejsca pracy,
 - c) powiadomić dopuszczającego lub koordynującego o zakończeniu pracy,
- 2) dopuszczający do pracy** jest obowiązany:
 - a) sprawdzić i potwierdzić zakończenie pracy,
 - b) zlikwidować miejsce pracy przez usunięcie technicznych środków zabezpieczających użytych do jego przygotowania,
 - c) przygotować urządzenia do ruchu i powiadomić o tym koordynującego.

W czynnościach związanych z likwidacją miejsca pracy mogą brać udział, pod nadzorem dopuszczającego, kierujący zespołem pracowników i członkowie tego zespołu.

Koordynujący zezwala na uruchomienie urządzenia lub instalacji elektrycznej, przy których była wykonywana praca, po otrzymaniu informacji od dopuszczającego o gotowości urządzeń do ruchu. Jeżeli praca była wykonywana przez kilka zespołów pracowników, decyzję o uruchomieniu urządzenia lub instalacji, koordynujący może podjąć po otrzymaniu informacji o gotowości do ruchu od wszystkich dopuszczających.

15. SPRZĘT OCHRONNY I ZNAKI BEZPIECZEŃSTWA

15.1. Rodzaje sprzętu ochronnego

W czasie wykonywania prac przy urządzeniach elektrycznych często wymagane jest używanie przez pracowników odpowiednich środków ochrony. Ogólne przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy wyróżniają środki ochrony zbiorowej, środki ochrony indywidualnej oraz urządzenia ochronne.

Środki ochrony zbiorowej – są przeznaczone do jednoczesnej ochrony grupy ludzi, w tym i pojedynczych osób, przed niebezpiecznymi i szkodliwymi czynnikami występującymi pojedynczo lub łącznie w środowisku pracy. Środki te są rozwiązaniami technicznymi stosowanymi w pomieszczeniach pracy, maszynach i innych urządzeniach.

Środki ochrony indywidualnej – są przeznaczone do ochrony człowieka przed niebezpiecznymi i szkodliwymi czynnikami występującymi pojedynczo lub łącznie w środowisku pracy. Do środków ochrony indywidualnej zalicza się odzież ochronną oraz środki ochrony: kończyn dolnych i górnych, głowy, twarzy i oczu, układu oddechowego, słuchu, sprzęt chroniący przed upadkiem pracownika z wysokości oraz środki izolujące cały organizm.

Urządzenia ochronne – są to osłony lub takie urządzenia, które spełniają jedną lub więcej z niżej wymienionych funkcji:

- zapobiegają dostępowi do stref niebezpiecznych,
- powstrzymują ruchy elementów niebezpiecznych, zanim pracownik znajdzie się w strefie niebezpiecznej,
- nie pozwalają na włączenie ruchu elementów niebezpiecznych, jeśli pracownik znajduje się w strefie niebezpiecznej,
- zapobiegają naruszeniu normalnych warunków pracy maszyn i innych urządzeń technicznych,
- nie pozwalają na uaktywnienie innych czynników niebezpiecznych lub szkodliwych.

Pracodawca jest zobowiązany oceniać i dokumentować ryzyko zawodowe, występujące przy określonych pracach, oraz stosować niezbędne środki profilaktyczne zmniejszające ryzyko. W szczególności pracodawca jest zobowiązany:

- zapewnić organizację pracy i stanowisk pracy w sposób zabezpieczający pracowników przed zagrożeniami wypadkowymi oraz oddziaływaniem czynników szkodliwych dla zdrowia i uciążliwych,
- zapewnić likwidację zagrożeń dla zdrowia i życia pracowników, głównie przez stosowanie technologii, urządzeń, materiałów i substancji nie powodujących takich zagrożeń.

Jeżeli ze względu na rodzaj procesu pracy likwidacja zagrożeń nie jest możliwa, należy stosować odpowiednie rozwiązania organizacyjne i techniczne, w tym odpowiednie środki ochrony zbiorowej, ograniczające wpływ tych zagrożeń na zdrowie i bezpieczeństwo pracowników. W sytuacji, gdy ograniczenie zagrożeń w wyniku zastosowania odpowiednich rozwiązań organizacyjnych i technicznych nie jest wystarczające, pracodawca jest zobowiązany zapewnić pracownikom środki ochrony indywidualnej, odpowiednie do rodzaju i poziomu występujących zagrożeń.

Narzędzia pracy i sprzęt ochronny, stosowane w czasie wykonywania prac przy urządzeniach elektroenergetycznych, są właśnie takimi środkami ochrony indywidualnej. Są to przenośne przyrządy i narzędzia chroniące osoby wykonujące prace przy urządzeniach elektroenergetycznych przed: porażeniem prądem elektrycznym i działaniem łuku elektrycznego, przed poparzeniem, obrażeniami mechanicznymi, przed nadmiernym hałasem, oddziaływaniem wibracji, zapylenia i toksyczności, przed upadkiem z wysokości i w zagłębienie oraz przed innymi zagrożeniami.

W zależności od przeznaczenia sprzęt ochronny dzieli się na następujące rodzaje:

- a) sprzęt izolacyjny,
- b) sprzęt do stwierdzania obecności lub braku napięcia,

- c) sprzęt chroniący przed pojawieniem się napięcia,
- d) sprzęt zabezpieczający przed działaniem łuku elektrycznego, produktów spalania i przed obrażeniami mechanicznymi (w tym przed upadkiem z wysokości lub w zagłębienie),
- e) sprzęt pomocniczy.

Sprzęt izolacyjny – jest to sprzęt chroniący człowieka przed przepływem przez jego ciało prądu elektrycznego. Sprzęt ten dzieli się na zasadniczy i dodatkowy. Sprzętem zasadniczym jest sprzęt, za pomocą którego można w sposób bezpieczny dotykać części czynnych znajdujących się pod napięciem. Sprzętem dodatkowym jest sprzęt, który nie może być użyty sam przy wykonywaniu pracy, gdyż nie stanowi pełnego zabezpieczenia. Natomiast użyty łącznie ze sprzętem zasadniczym zwiększa bezpieczeństwo pracy.

Sprzęt izolacyjny i jego podział na sprzęt zasadniczy i dodatkowy, w zależności od napięcia, przedstawiono w tablicy 15.1.

Tablica 15.1 Podział sprzętu izolacyjnego

Rodzaj sprzętu	Napięcie powyżej 1000 V	Napięcie do 1000 V
Zasadniczy	drażki, kleszcze, wskaźniki napięcia	drażki, kleszcze, wskaźniki napięcia, uchwyty izolacyjne do bezpieczników, rękawice dielektryczne, narzędzia izolowane
Dodatkowy	rękawice dielektryczne, półbuty dielektryczne, dywaniki i chodniki gumowe, pomosty izolacyjne	kalosze izolacyjne, dywaniki i chodniki gumowe, pomosty izolacyjne

Sprzęt do stwierdzania obecności lub braku napięcia – są to wskaźniki wysokiego i niskiego napięcia oraz uzgadniacze faz.

Wskaźniki wysokiego napięcia dzielą się na wskaźniki: optyczne (neonowe), akustyczne i akustyczno-optyczne. Neonowe wskaźniki wysokiego napięcia przeznaczone są do optycznej sygnalizacji braku lub obecności napięcia. Wykonywane są na napięcia od 1 kV do 750 kV i przeznaczone do mocowania na drążku izolacyjnym. Akustyczne wskaźniki wysokiego napięcia przeznaczone są do akustycznej sygnalizacji braku lub obecności napięcia przemienneo o wartości od 1 kV do 400 kV i przeznaczone do mocowania na drążku izolacyjnym. Obecność napięcia sygnalizowana jest zmianą sygnału akustycznego z przerywanego na ciągły. Akustyczno-optyczne wskaźniki wysokiego napięcia łączą w sobie cechy wskaźnika akustycznego i optycznego. Przeznaczone są na napięcia o wartości od 1 kV do 750 kV. Obecność napięcia sygnalizują zarówno świeceniem neonówki jak i zmianą sygnału akustycznego.

Wskaźniki niskiego napięcia dzielą się na jednobiegunowe i dwubiegunowe. Wskaźniki jednobiegunowe przeznaczone są dla napięć do 250 (500) V a dwubiegunowe – do 750 V.

Uzgadniacze faz – są to urządzenia do optycznego sprawdzania zgodności lub niezgodności faz między dwoma obwodami znajdującymi się pod napięciem.

Sprzęt chroniący przed pojawieniem się napięcia – są to uziemiacze przenośne i zarzutki. Służą one do ochrony miejsca pracy przed możliwością ponownego pojawienia się napięcia na wyłączonych spod napięcia elementach urządzeń elektroenergetycznych. Zakłada się je na te elementy urządzeń natychmiast po wyłączeniu napięcia i stwierdzeniu jego braku.

Sprzęt zabezpieczający przed działaniem łuku elektrycznego, produktów spalania lub przed obrażeniami mechanicznymi – jest to sprzęt, do którego zalicza się:

- okulary ochronne przeciwdpryskowe,
- szelki bezpieczeństwa,
- maski przeciwgazowe,
- rękawice, fartuchy, ubrania przeciwogniowe,
- drabiny i podnośniki,
- słupolazy.

Sprzęt pomocniczy – jest to sprzęt, do którego zalicza się:

- przenośne ogrodzenia i płyty izolacyjne,
- barierki i linki,
- nakładki izolacyjne,
- tablice ostrzegawcze,
- siatki ochronne.

15.2. Ewidencjonowanie sprzętu ochronnego

Sposób ewidencjonowania i kontroli sprzętu ochronnego ustala pracodawca, który powinien wyznaczyć osoby odpowiedzialne za gospodarkę sprzętem ochronnym. Do ich obowiązków powinno należeć dbanie o:

- dostateczną ilość sprzętu i uzupełnianie zapasów,
- terminowe dokonywanie okresowych przeglądów i prób,
- ewidencjonowanie sprzętu ochronnego,
- prawidłowe przechowywanie sprzętu,
- niezwłoczne usuwanie z eksploatacji sprzętu niezdatnego do użytku.

Sprzęt ochronny należy numerować i ewidencjonować przestrzegając następujących zasad:

- a) na sprzęcie ochronnym należy w sposób trwały zaznaczyć:
 - numer ewidencyjny,
 - datę następnej próby okresowej,
 - cechy przeznaczenia (napięcie robocze w kilowoltach),
- b) ewidencję sprzętu ochronnego należy prowadzić tak, aby łatwo było znaleźć miejsce, w którym sprzęt się znajduje oraz sprawdzić datę prób okresowych,
- c) należy prowadzić oddzielny wykaz wszystkich nakładanych przenośnych uziemiaczy; założone uziemiacze należy przekazywać kolejnym zmianom wg liczby i numeracji, przy czym należy dokładnie podawać numery uziemiaczy i miejsce ich założenia,
- d) przy wydawaniu sprzętu ochronnego do osobistego użytkowania należy wpisać datę wydania i rodzaj sprzętu; sprzęt ochronny do osobistego użytkowania należy wydać na czas określony, po upływie którego powinien być zwrócony.

Zgodnie z wytycznymi obowiązkowej ewidencji podlega następujący sprzęt ochronny:

- a) wskaźniki napięcia na napięcie powyżej 1 kV,
- b) drążki izolacyjne manipulacyjne,
- c) drążki izolacyjne pomiarowe,
- d) drążki do nakładania przenośnych uziemiaczy ochronnych na napięcie powyżej 1 kV,
- e) drążki izolacyjne uniwersalne,
- f) rękawice elektroizolacyjne,
- g) obuwie elektroizolacyjne.

Według uznania w zakładach pracy może ponadto podlegać ewidencji następujący sprzęt ochronny i narzędzia pracy:

- a) szelki bezpieczeństwa,
- b) zestawy ratunkowe,
- c) uziemiacze przenośne,
- d) zwieracze,
- e) ubrania trudnopalne,
- f) fartuchy ochronne przeciwłukowe,
- g) hełmy przeciwuderzeniowe,
- h) hełmy elektroizolacyjne,
- i) przegrody izolacyjne,
- j) transformatory bezpieczeństwa 220/24 V,

- k) osłony przeciwuderzeniowe i przeciwtermiczne,
- l) przenośne urządzenia do napowietrzania, wentylacji i ochładzania miejsca pracy,
- m) ubrania ognioodporne i wodoodporne,
- n) maski przeciwgazowe,
- o) sprzęt i ubrania nurka oraz płetwonurka,
- p) kamizelki ratunkowe,
- q) okulary ochronne,
- r) inne narzędzia pracy i sprzęt ochronny.

15.3. Rozmieszczenie sprzętu ochronnego

Sprzęt ochronny należy rozmieścić w zakładzie zgodnie ze szczegółową instrukcją. Powinna ona określać zakres wyposażenia w sprzęt ochronny zespołów pracowników jak i indywidualnych pracowników. Przy opracowywaniu takiej instrukcji należy przestrzegać następujących zasad:

- a) komplet sprzętu ochronnego dla każdej wysokości napięcia, w liczbie wynikającej z ilości, rodzaju i warunków obsługi urządzeń, powinien znajdować się w szczególności:
 - w stacjach elektroenergetycznych ze stałą obsługą oraz w wielopolowych stacjach bez stałej obsługi o dużej częstotliwości czynności ruchowych lub konserwacyjno-remontowych,
 - w stacjach bez stałej obsługi o utrudnionym dostępie terenowym,
 - w elektrowniach,
 - w posiadaniu zespołu pracowników przygotowujących miejsca pracy w stacjach nie wyposażonych w sprzęt ochronny i w sieci elektroenergetycznej,
 - w miejscach przebywania obsługi urządzeń elektroenergetycznych.
- b) Większe stacje elektroenergetyczne wskazane jest wyposażać w drążki odłącznikowe, pomosty izolacyjne oraz kleszcze i uchwyty izolacyjne. Pracownicy pełniący dyżury w stacjach mogą uzyskać do osobistego wyposażenia rękawice i półbuty dielektryczne, hełmy ochronne izolacyjne, okulary ochronne i zarzutki. Każdy pracownik pracujący na słupach elektroenergetycznych powinien posiadać szelki bezpieczeństwa i słupolazy.

15.4. Przechowywanie sprzętu ochronnego

Przechowywanie sprzętu ochronnego razem z narzędziami pracy jest zabronione!

Sprzęt ochronny i narzędzia pracy należy przechowywać w miejscach do tego wyznaczonych w warunkach zapewniających utrzymanie ich w pełnej sprawności, wyposażonych w odpowiednie stojaki lub/i haczyki do zawieszania drążków i tablic ostrzegawczych a także uziemiaczy przenośnych oraz w szafki do przechowywania rękawic, półbutów, masek, wskaźników napięcia itp.

Sprzęt ochronny gumowy należy przechowywać w temperaturze nie wyższej od 25 °C w stanie nie naprężonym w miejscach suchych, chronionych przed działaniem promieni słonecznych, z dala od olejów, kwasów, benzyny i innych szkodliwie działających na gumę substancji. Sprzęt wykonany z drewna lub bakelitu (materiałów higroskopijnych) powinien być przechowywany w pomieszczeniach suchych lub w szczelnych futerałach. Sprzęt ochronny powinien być przewożony w specjalnych pojemnikach, skrzyniach, futerałach lub nieprzemakalnych pokrowcach.

15.5. Okresowe badanie sprzętu ochronnego

Sprzęt ochronny i narzędzia pracy powinny być poddawane okresowym próbom w zakresie ustalonym w Polskich Normach lub w dokumentacji producenta.

Okresowym próbom wytrzymałości elektrycznej należy poddawać izolacyjny sprzęt ochronny. Sprzęt, którego termin ważności próby okresowej został przekroczony nie może być

dalej stosowany i należy go natychmiast wycofać z użycia. Próby wytrzymałości elektrycznej należy wykonywać w terminach określonych w normach przedmiotowych sprzętu ochronnego, w terminach określonych przez akredytowane laboratoria wykonujące takie badania, zwykle nie rzadziej niż w terminach przedstawionych w tablicy 15.2.

Tablica 15.2. Terminy badań okresowych izolacyjnego sprzętu ochronnego

Nazwa sprzętu ochronnego	Terminy badań okresowych
Rękawice, półbuty i kalosze dielektryczne, drążki izolacyjne i wskaźniki napięcia na napięcie od 1 kV do 110 kV, uzgadniacze faz, drążki pomiarowe	co 6 miesięcy
Drążki izolacyjne (z wyjątkiem pomiarowych) i wskaźniki napięcia na napięcie 220, 400 i 750 kV, kleszcze i uchwyty izolacyjne, dywaniki i chodniki gumowe	co 12 miesięcy
Pomosty izolacyjne	co 3 lata
Uwaga: Nie wolno wykonywać żadnych prób wytrzymałości mechanicznej izolacyjnego sprzętu ochronnego!	

15.6. Zasady posługiwania się sprzętem ochronnym

Osoby dozoru powinny okresowo sprawdzać stan techniczny, stosowanie, przechowywanie i ewidencję sprzętu ochronnego oraz środków ochrony indywidualnej. Zabronione jest używanie narzędzi pracy i sprzętu ochronnego, które nie są oznakowane, są uszkodzone lub niesprawne albo utraciły ważność próby okresowej. Narzędzia i sprzęt niesprawny lub który utracił ważność próby okresowej należy niezwłocznie wycofać z użycia.

Przed każdym użyciem sprzętu ochronnego należy sprawdzić jego stan techniczny dokonując szczegółowych oględzin sprzętu. Sprawdzić napięcie sprzętu izolacyjnego, na jakie jest on przeznaczony, oraz termin ważności próby okresowej. W przypadku ujemnego wyniku oględzin nie wolno sprzętu używać i należy oddać go do badań kontrolnych. Sprzęt uznany za niezdatny do użytku i naprawy należy złomować.

Przy wykonywaniu czynności łączeniowych należy w miarę potrzeby stosować okulary ochronne, a przy zagrożeniach mechanicznych – hełmy ochronne. Do manipulacji nieizolowanymi dźwigniami napędów łączników należy stosować rękawice elektroizolacyjne a przy wykonywaniu czynności łączeniowych odłącznikami słupowymi zaleca się stosowanie półbutów dielektrycznych. Przy wykonywaniu czynności łączeniowych drążkami izolacyjnymi lub napędami ręcznymi należy przestrzegać następujących zasad:

- niedopuszczalne jest trzymanie drążków izolacyjnych poza ogranicznikiem uchwytu,
- styki odłącznika powinny być otwierane i zamykane zdecydowanym, szybkim ruchem,
- w czasie wyładowań atmosferycznych nie wolno wykonywać ręcznie żadnych czynności łączeniowych przy urządzeniach napowietrznych.

Przy sprawdzaniu braku napięcia należy sprawdzić dostosowanie zakresu pomiarowego używanego wskaźnika do napięcia znamionowego urządzenia. Wskaźniki powinny być mocowane na drążkach izolacyjnych pomiarowych o odpowiednim napięciu. Niedopuszczalne jest trzymanie drążków izolacyjnych pomiarowych poza ogranicznikiem uchwytu. Brak napięcia należy sprawdzać we wszystkich fazach, a w liniach do 1 kV również w przewodzie oświetlenia ulicznego. Stosowanie wskaźników napięcia przy urządzeniach napowietrznych o napięciu powyżej 1 kV w niekorzystnych warunkach atmosferycznych (mgła, mżawka) wymaga użycia rękawic elektroizolacyjnych.

Przy urządzeniach wysokiego napięcia zaleca się stosowanie wskaźników akustycznych lub akustyczno-optycznych z samokontrolą działania. Na liniach promieniowych oraz w wyodrębnionych obiektach i urządzeniach pozbawionych napięcia należy stosować jedynie wskaźniki z samokontrolą działania. Wskaźniki bez samokontroli mogą być stosowane tylko wówczas, gdy istnieje możliwość kontroli ich działania, bezpośrednio przed i po użyciu, na urządzeniach znajdujących się pod napięciem. Sprawdzenie braku napięcia nie może być oparte

tylko na podstawie działania wskaźników stałych (szynowych) lub odczytu wskazań przyrządów pomiarowych.

Przy zakładaniu uziemiaczy przenośnych i zwieraczy należy przestrzegać zasady, że czynności te wolno wykonywać tylko bezpośrednio po sprawdzeniu braku napięcia. Miejsce pracy należy uziemiać zawsze obustronnie, przy czym co najmniej jeden uziemiacz winien być widoczny z miejsca pracy. W razie zasilania urządzenia w miejscu pracy z wielu linii, należy uziemić wszystkie linie zasilające. Zaciski uziemiaczy i zwieraczy powinny być dostosowane do kształtu i przekroju uziemianych lub zwieranych przewodów. Nie wolno uziemiać miejsca pracy poprzez odłączniki i bezpieczniki. Należy uziemiać wszystkie fazy urządzenia, nawet gdy praca ma być wykonywana tylko na jednym przewodzie (np. przewodzie oświetlenia ulicznego). Przy uziemianiu i zwieraniu należy wykorzystywać istniejące uziomy naturalne, uziemienia zbrojenia lub konstrukcji słupów. W razie konieczności należy stosować sondy uziemiające. Sondę należy wbijać na głębokość co najmniej 1m, w odległości większej niż 2 m od miejsca pracy.

Przed każdym użyciem przenośnych uziemiaczy i zwieraczy należy dokonać ich oględzin. Uziemiacz lub zwieracz należy wycofać z eksploatacji, jeżeli:

- powierzchnia styku zacisku uziemiacza lub zwieracza, płytki złączowej lub zacisku uziomowego jest uszkodzona,
- stwierdzi się uszkodzenie 10% drutów przewodów uziemiacza, zwieracza lub przedłużacza lub uszkodzenie połączeń lub elementu dociskającego,
- przez uziemiacz, zwieracz lub przedłużacz płynął prąd zwarcia zbliżony do znamionowej wytrzymałości termicznej.

Przy zakładaniu uziemiaczy w urządzeniach o napięciu powyżej 1 kV powinno się stosować okulary i hełmy ochronne oraz drążki izolacyjne. Nie wolno zakładać i przykręcać zacisków fazowych bezpośrednio rękami. Dopuszcza się zakładanie zacisków fazowych na przewody w inny sposób niż przy pomocy drążków izolacyjnych, jeśli zastosowana technologia zapewnia bezpieczeństwo pracy. W pierwszej kolejności należy dokręcić zacisk uziemiacza do uziomu (zbrojenie słupa, sonda lub taśma uziemiająca), a następnie przy pomocy drążka izolacyjnego założyć zaciski fazowe na szyny lub przewody zapewniając pewny styk. Przy zdejmowaniu należy zachować kolejność odwrotną, tj. najpierw odkręcić i zdjąć przy pomocy drążka zaciski fazowe, a następnie odkręcić zacisk uziomowy.

W sieciach i instalacjach o napięciu do 1 kV dopuszcza się stosowanie uziemiaczy przenośnych lekkich, jeżeli w miejscu wyłączenia zastosowano uziemiacz przenośny lub zdemontowano przęsło linii od strony zasilania. Dopuszcza się stosowanie zwieraczy zamiast uziemiaczy przenośnych pod warunkiem, że przewód neutralny jest trwale uziemiony. Przy posługiwaniu się zwieraczem pierwszy zacisk zakładany jest na przewód ochronno-neutralny PEN lub na przewód ochronny PE. W każdym przypadku należy zwierać wszystkie fazy urządzenia wraz z przewodem ochronno-neutralnym lub ochronnym w tym również przewód fazowy oświetlenia ulicznego. Na przyłączach oraz w instalacjach odbiorczych dopuszcza się stosowanie zwieraczy lekkich.

W urządzeniach stacyjnych uziemiacze przenośne należy zakładać tylko w miejscach do tego wyznaczonych, tj. dobrze oczyszczonych i widocznie oznakowanych. W przypadku braku takich miejsc, uziemiacze przenośne należy zakładać na gołe, nie izolowane i nie malowane części urządzeń, zapewniając pewny styk. W rozdzielniach wyposażonych w uziemniki stałe, jeżeli miejsce pracy po zamknięciu uziemników jest dwustronnie uziemione, w miejscu pracy dopuszcza się zastosowanie uziemiacza przenośnego lekkiego.

W liniach napowietrznych promieniowych, o napięciu powyżej 1 kV do 110 kV, dopuszcza się zabezpieczenie miejsca pracy przez zastosowanie uziemiaczy przenośnych lekkich, jeżeli w miejscu wyłączenia uziemiono linię uziemnikiem lub zastosowano uziemiacz przenośny. W liniach, w których możliwe jest podanie napięcia z dwóch lub więcej źródeł poprzez zamknięcie łączników, dopuszcza się zabezpieczenie miejsca pracy przez zastosowanie

uziemiaczy przenośnych lekkich, jeżeli w miejscach wyłączeń uziemiono linię uziemnikami lub zastosowano uziemiacze przenośne.

Linie napowietrzne 110, 220, 400 i 750 kV powinny być uziemiane w miejscach ich wyłączenia uziemnikami stałymi lub uziemiaczami przenośnymi. Miejsce pracy na linii należy uziemiać przy pomocy uziemiaczy przenośnych lekkich zakładanych na najbliższych słupach ograniczając to miejsce. Przy pracach wykonywanych tylko na jednym słupie wsporczym dopuszcza się uziemianie miejsca pracy uziemiaczami przenośnymi lekkimi zakładanymi na słupie, na którym odbywa się praca.

W napowietrznych liniach dwutorowych 110, 220 i 400 kV przy wyłączonym jednym torze linii oraz przy pracach na wyłączonych liniach napowietrznych biegnących w zbliżeniu z liniami 110, 220 i 400 kV, niezależnie od zasad uziemienia podanych wyżej, należy założyć dodatkowo uziemiacze przenośne lekkie:

- a) na przewody robocze na każdym słupie, na którym wykonywane są prace wymagające dotykania przewodów roboczych, po obu stronach mostka przewodu roboczego przy jego rozpinaniu lub spinaniu,
- b) na przewód odgromowy w miejscu wykonywania na nim pracy w warunkach przerwania metalicznego połączenia przewodu odgromowego z konstrukcją słupa (z przewodem uziemiającym).

Przy zakładaniu i wyjmowaniu wkładek bezpiecznikowych w stacjach wewnątrzowych o napięciu powyżej 1 kV należy stosować kleszcze izolacyjne lub chwytak manewrowy. Zaleca się użycie okularów ochronnych. W przypadkach gdy użycie kleszczy izolacyjnych jest utrudnione lub niemożliwe, np. w stacjach słupowych, przed wymianą wkładek należy wyłączyć napięcie i po sprawdzeniu braku napięcia obustronnie uziemić miejsce pracy.

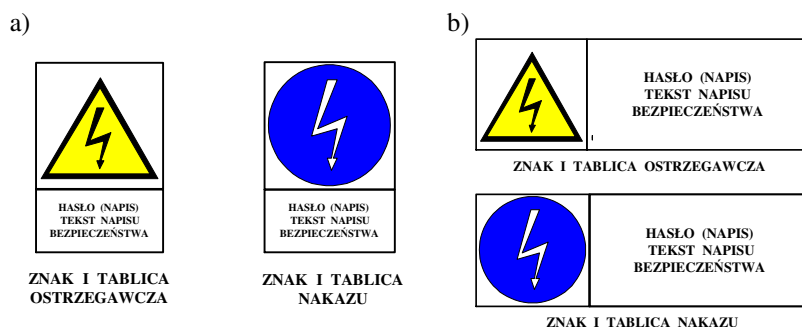
Wymianę bezpieczników instalacyjnych w urządzeniach o napięciu do 1 kV można przeprowadzać bez użycia sprzętu ochronnego pod warunkiem, że ich obudowy zewnętrzne nie są uszkodzone. Wymianę wkładek bezpiecznikowych dużej mocy należy dokonywać przy pomocy izolacyjnego uchwytu bezpiecznikowego. W razie potrzeby zaleca się użycie okularów ochronnych i rękawic elektroizolacyjnych. Wymiana wkładek bezpiecznikowych powinna być dokonywana po wyłączeniu napięcia w obwodzie, względnie po sprawdzeniu braku obciążenia obwodu.

15.7. Znaki bezpieczeństwa i tablice ostrzegawcze

Zgodnie z normą tablice i znaki bezpieczeństwa ze względu na ich funkcję dzielą się na:

- **ostrzegawcze** (trójkąt na kwadratowym białym tle o barwie żółtej z czarną obwódką i czarnym symbolem błyskawicy), które są przeznaczone do podkreślania i ostrzegania o bezpośrednim istniejącym lub mogącym powstać zagrożeniu, jeżeli łączy się ono ze zjawiskami fizycznymi oraz z przewidywaną do wykonania czynnością (znaki te umieszcza się np. na słupach linii napowietrznych, oświetlenia ulicznego, ogrodzeniach rozdzielni, stacji itp.),
- **nakazu** (koło na kwadratowym białym tle o barwie niebieskiej z białym symbolem błyskawicy), które są przeznaczone do ostrzeżenia przed następstwami zagrożenia lub do wydania pewnego, określonego polecenia przy wykonywaniu czynności (znaki te umieszcza się np. na łącznikach, drzwiach celek, pulpitych, silnikach itp.),
- **zakazu** (pierścień o barwie czerwonej na kwadratowym białym tle z czarnym symbolem błyskawicy), które są przeznaczone do zakazania wykonania czynności w danej sytuacji niebezpiecznej, nieprawidłowej lub niezgodnej z przepisami i stwarzającej zagrożenie porażeniem lub poparzeniem (znaki te umieszcza się np. na drzwiach celek rozdzielni, stacji transformatorowych itp.),
- **informacyjne** (kwadrat o barwie niebieskiej z białym symbolem błyskawicy), które są przeznaczone do informowania o możliwościach osiągnięcia stanu bezpieczeństwa i zwracania uwagi na stan urządzeń (znaki te umieszcza się przy organizowaniu miejsca pracy lub dla oznaczenia miejsc zainstalowania i stanu urządzeń).

Ze względu na sposób umocowania tablice i znaki bezpieczeństwa dzielą się na stałe i przenośne. Ze względu na miejsce umieszczenia treści napisu (hasła) tablice dzielą się na typu A, z treścią napisu umieszczoną pod znakiem i typu B – z treścią napisu umieszczoną po prawej stronie znaku bezpieczeństwa (rys. 15.1).



Rys. 15.1. Znaki i tablice bezpieczeństwa: a) typu A, b) typu B

Wymagania techniczne dotyczące kształtów, wymiarów, rozmieszczenia otworów do mocowania i barwy znaków podane są w normie PN-88/E-08501. Poniżej w tabelach podano przykłady napisów umieszczanych na tablicach bezpieczeństwa.

Na tablicach ostrzegawczych umieszczane są następujące napisy, na przykład:

Nie dotykać! Urządzenie elektryczne!	Obwód pomocniczy pod napięciem
Wysokie napięcie – niebezpieczne dla życia	Napięcie zwrotne
Kabel wysokiego napięcia	Niebezpieczne napięcie dotykowe
Pod napięciem	Niebezpieczeństwo porażenia napięciem indukowanym
Obwód oświetleniowy pod napięciem	Zasilanie dwustronne. Niebezpieczne pole elektryczne
	Niebezpieczne napięcie krokowe

Na tablicach nakazu umieszczane są następujące napisy, na przykład:

Wyłącz w niebezpieczeństwie	Pracuj tylko tutaj
Wyłącz przed rozpoczęciem pracy	W niebezpieczeństwie naciśnij przycisk
Przed wejściem wyłącz	To miejsce musi być zawsze wolne
Wyłącz obustronnie	Pracuj tylko nieiskrzącymi narzędziami
Przed pracą uziemić	Przed zdjęciem osłony (ochrony) – wyłącz
Przed otwarciem rozładuj – wysokie napięcie	Urządzenie obsługiwać może tylko osoba uprawniona
Przed wejściem wyłącz wyłącznik w kabinie dźwigu	

Na tablicach zakazu umieszczane są następujące napisy, na przykład:

Niebezpieczeństwo dla życia	Nie wchodzić
Nie załączać – pracują ludzie	Nie wchodzić do stacji prób
Nie załączać – na linii pracują ludzie	Nie wchodzić do laboratorium
Nie załączać	Niebezpieczne dla życia
Wejście wzbronione	Dotykanie wzbronione

Na tablicach informacyjnych umieszczane są następujące napisy, na przykład:

Miejsce pracy	Napięcie 12 V
Podział sieci	Napięcie 24 V
Uziemiono	Wyłącznik (prądu)
Zwarto	Wyłącznik główny
Wyłączono	Wyłącznik główny linii
Włączono	Wyłącznik główny budynku
Napięcie V	Wyłącznik główny dźwigu