

UZIEMIACZE PRZENOŚNE DLA SIECI ELEKTROENERGETYCZNYCH

Wytyczne doboru i użytkowania

PAMIĘTAJ !

**Tylko skutecznie uziemione części
urządzenia elektroenergetycznego są
bez napięcia i wolno je dotykać !**

Opracował : Jan Imieliński

Gdańsk, styczeń 2012

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wprowadzenie	3
2. Dokumenty związane	3
3. Określenia	3
4. Dane charakterystyczne sprzętu uziemiającego	4
5. Parametry zwarciove w sieciach elektroenergetycznych i przekroje przewodów uziemiaczy przenośnych	5
6. O zagrożeniach	9
7. Wymagania przepisów oraz skuteczne uziemianie urządzeń elektroenergetycznych	10
8. Optymalizacja w gospodarce uziemiaczami	13
9. Użytkowanie, konserwacja i wycofanie z eksploatacji	15

1. Wprowadzenie

Normy i przepisy określają wymagania w zakresie produkcji, doboru, stosowania i konserwacji sprzętu uziemiającego dla instalacji, sieci przesyłowych i rozdzielczych prądu przemiennego o dowolnym napięciu znamionowym.

Celem niniejszych wytycznych jest przekazanie w niezbędnym zakresie zawartej w przepisach i wzbogaconej praktyką wiedzy potrzebnej w doborze i użytkowaniu sprzętu uziemiającego, organizacji robót na urządzeniach całkowicie wyłączonych spod napięcia oraz zabezpieczeniu miejsc pracy w sposób możliwie najłatwiejszy i całkowicie eliminujący ryzyko porażenia.

Zalecenie normy (2.1) : „Doświadczenie wykazuje, że sprzęt ten powinien być łatwy w użyciu. Aby utrzymywać mały ciężar urządzenia, są podawane maksymalne dopuszczalne temperatury części przewodzących prąd. Należy wziąć pod uwagę ciężar komponentów sprzętu, aby zapewnić, że wysiłek wymagany do zbliżenia sprzętu do przewodów jest możliwy do wykonania przez pracownika.”

Dodać należy, że oprócz spełnienia wymagań technicznych, uziemiacz na stanowisku pracy jest wskaźnikiem trwałego braku napięcia na części, której się dotyka.

2. Dokumenty związane

- 2.1 PN-EN 61230:2011 Prace pod napięciem. Przenośny sprzęt do uziemiań lub uziemiań i zwierania
- 2.2 PN-EN 61138:2009 Przewody przeznaczone do przenośnego sprzętu uziemiającego i zwierającego
- 2.3 PN-EN 51110-1:2005 Eksploatacja urządzeń elektrycznych.
- 2.4 Dz.U. Nr 80 poz. 912. Rozporządzenie Ministra Gospodarki (17.09.1999r.) w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach i instalacjach energetycznych.

3. Określenia

3.1 Uziemiacz przenośny składa się z :

- jednego lub kilku zacisków fazowych
- przewodów zwierających zaciski fazowe
- przewodu uziemiającego, który w uziemiaczach pojedynczych jest zarazem przewodem zwierającym
- zacisku uziemiającego.

3.2 Zwieracz przenośny jest uziemiaczem złożonym tylko z zacisków fazowych, z których jeden służy jako zacisk uziemiający.

3.3 Stały punkt przyłączenia w postaci strzemienia, haka lub sworznia mocowanego na szynach płaskich lub przewodach okrągłych umożliwia zakładanie zacisków fazowych, szczególnie na odcinkach pionowych i w miejscach trudniej dostępnych.

3.4 System uziemień, to uziomy sztuczne lub naturalne w postaci uziemionych konstrukcji stalowych, fundamentów żelbetowych słupów z dostępem do zbrojenia, uziemionych przewodów zerowych (PEN) sieci nn pracujących w układzie TN, metalowe uziemione żyły i powłoki kabli.

3.5 Przedłużacz jest przewodem uziomowym, który umożliwia połączenie przewodu uziemiającego z oddalonym poza wymiary uziemiacza systemem uziemiającym.

4. Dane charakterystyczne sprzętu uziemiającego

4.1 Rodzaj sprzętu to jego nazwa, ilość zacisków fazowych i oznaczenie odmiany lekkiej dla sieci SN. Na przykład uziemiacz trójfazowy lekki oznaczony jest symbolem U3L; uziemiacz pojedynczy – U1; zwieracz czterozaciskowy – Z4.

4.2 Typ uziemiacza zdeterminowany jest przez rozwiązanie konstrukcyjne zacisku fazowego i różnie oznaczany przez producentów sprzętu uziemiającego.

4.3 Stosownie do przeznaczenia uziemiaczy dobierane są długości przewodów uziemiających i zwierających w taki sposób, aby nie były za krótkie i niepotrzebnie za długie.

4.4 Prąd znamionowy I_r i czas znamionowy t_r : Wartości przyporządkowane uziemiaczom lub ich częściom, które określają największą skuteczną wartość prądu i największą wartość całki Joule'a ($I_r^2 \times t_r$), które urządzenie wytrzyma bez niedopuszczalnych skutków.

Znormalizowane wartości czasu znamionowego : 3s, 2s, 1s, 0,75s, 0,5s, 0,25s, 0,1s. Dla jednej z tych wartości czasu należy określić wartość skuteczną prądu I_r jako :

$I_{r3}, I_{r2}, I_{r1}, I_{r0,75}, I_{r0,5}, I_{r0,25}, I_{r0,1}$, w kA.

4.5 Prąd szczytowy I_m [kA] : Wartość szczytowa największego natężenia prądu, który wystąpi w stanie nieustalonym spowodowanym włączeniem obwodu pod napięcie. Podczas badań typu przyjmuje się $I_m = 1,15 \times n \times I_{rt}$ [kA], gdzie $n=2$ dla sprzętu do 1kV włącznie, $n=2,5$ dla sprzętu powyżej 1kV.

4.6 Przekrój znamionowy przewodów zwierających i uziemiających jest dobierany tak, aby wytrzymały maksymalne wartości prądów, czasów i całek Joule'a, na które mogą być narażone w praktyce. Norma zaleca, aby ze względu na ciężar sprzętu nie przewymiarowywać przekrojów. Praktyczniejszym rozwiązaniem w wyjątkowych przypadkach jest założenie uziemiacza dodatkowego.

4.7 Znakowanie sprzętu uziemiającego

System oznakowania przyjęty przez firmę „IGEL” zawiera wszystkie informacje zgodnie z PN-EN 61230:2011:

$R - T - L_1/L_2 - I_{rt} - S$ - dla uziemiaczy wielozaciskowych

$R - T - L_1 - I_{rt} - S$ - dla uziemiaczy pojedynczych i zwieraczy, gdzie :

R - rodzaj sprzętu (4.1)

T - typ zacisków fazowych (4.2)

L_1 - długość przewodu uziemiającego (m)

L_2 - długość przewodu zwierającego (m)

I_{rt} - prąd znamionowy, 0,75-sekundowy $I_{r0,75}$ [kA/0,75s]

S - przekrój przewodów zwierających (mm^2Cu)

Dodatkowe oznaczenie :

t_r = czas znamionowy ; k_s = znamionowy współczynnik szczytu

W oznakowaniu sprzętu, oprócz powyższych danych na sprzęcie powinny się znajdować :

- nazwa producenta lub znak fabryczny
- rok produkcji

- na przewodach : nazwa producenta albo znak fabryczny, przekrój żyły (mm²), oznaczenie kodowe (H00V3-D dla przewodu Cu w powłoce PVC, H00S-D dla przewodu Cu w powłoce silikonowej). Zestawy znaków umieszczone w odległości nie mniejszej niż 0,55m.

5. Parametry zwarciove w sieciach elektroenergetycznych i przekroje przewodów uziemiaczy przenośnych

5.1 W tablicy 1 zestawiono szereg znamionowych prądów 0,75-sekundowych ($I_{r0,75}$) i odpowiadające tym prądom przekroje miedzianych przewodów zwierających – są przyjmowane jako parametry podstawowe w czasie badań typu.

Wartość całki Joule'a - $I_r^2 \times t_r$ [kA²s], jest miarą ciepła wydzielonego w przewodach zwierających lub w topikach bezpiecznikowych w czasie zwarcia.

Tablica 1. Znamionowe parametry zwarciove i przekroje przewodów uziemiaczy przenośnych

Znamionowy prąd $I_{r0,75}$ [kA/0,75s]	4	6,5	9	13	18,5
Prąd szczytowy I_m [kA] (do 1 kV; $k_s=2$)	8	13	18	26	37
Prąd szczytowy I_m [kA] (pow. 1 kV; $k_s=2,5$)	10	16,2	22,5	32,5	46,2
Znamionowa całka Joule'a $I_r^2 \times t_{r0,75}$ [kA ² s]	12	31,7	60,7	126,7	256,7
Przekrój przewodu zwierającego (mm ² Cu)	16	25	35	50	70
Przekrój przewodu uziemiającego dla sieci SN (mm ² Cu)	16	16	16	25	35

W tablicy 2 zestawiono wartości spodziewanych wartości przyrostów temperatury przewodów dla czasów 0,75s i 1s.

Tablica 2. Spodziewane przyrosty temperatury przewodów uziemiaczy dla znamionowych prądów zwarcia

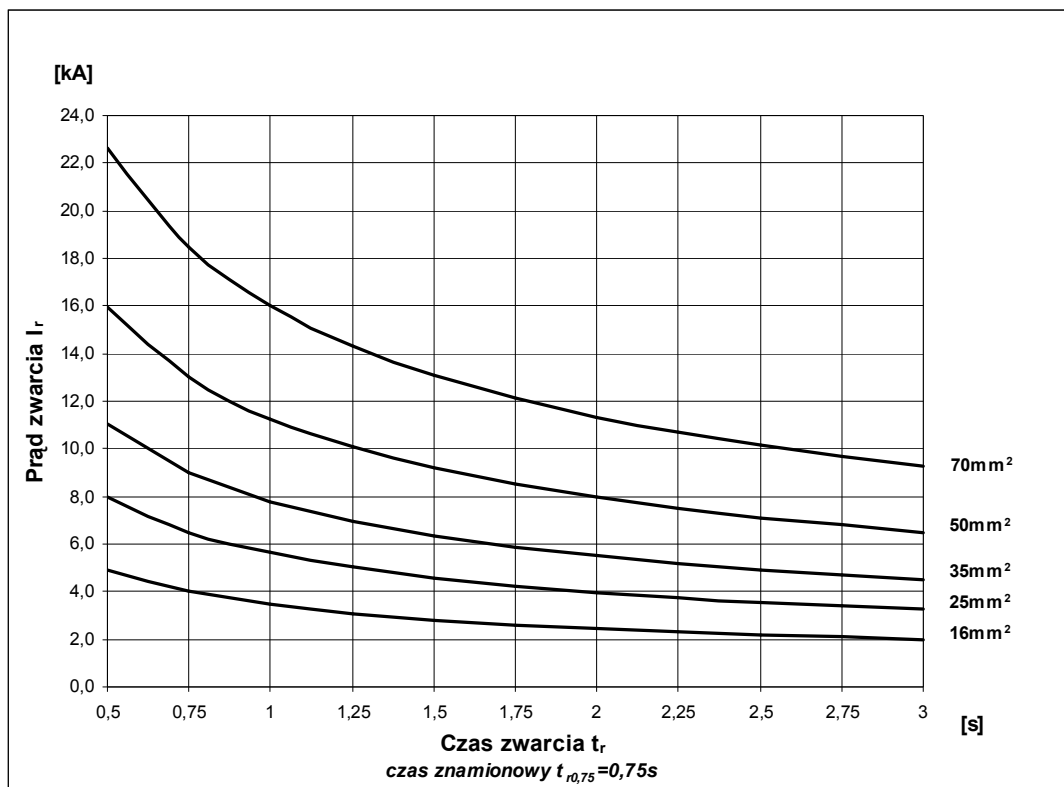
Przekrój przewodu [mm ²]	Prąd znamionowy $I_{r0,75}$ [kA]	Znam. całka cieplna dla $t_{r0,75}$ [kA ² *s]	Spodziewany przyrost temperatury przewodu dla $t_{r0,75}$ ΔT [K]	Całka cieplna dla t_{r1} [kA ² *s]	Spodziewany przyrost temperatury przewodu dla t_{r1} ΔT [K]
16	4	12	380	16	590
25	6,5	32	430	42	670
35	9	61	420	81	640
50	13	127	430	169	670
70	18,5	257	450	342	700

Dla wartości znamionowych $I_{r0,75}/t_{r0,75}$ spodziewany przyrost temperatury przewodów uziemiaczy zgodnie z wykresami C2 i C3 (PN-EN 61230:2011, str. 50-51) nie przekroczy 380-450 °C. Przy wydłużeniu czasu zwarcia do 1s (t_{r1}), spodziewany przyrost temperatury przewodów uziemiaczy nie przekroczy wartości 590-700°C.

Uziemiacze o znamionowym prądzie zwarciowym 0,75-sekundowym $I_{r0,75}$ [kA/0,75s], przy zachowaniu wartości całki Joule'a $I_r^2 \times t_{r0,75}$ [kA²s], mogą być użytkowane przy czasach

dłuższych niż 0,75s i mniejszym prądzie zwarciovym. Natomiast dla czasów krótszych niż 0,75s i większych prądów konieczne jest upewnienie się, że zachowana jest również wytrzymałość dynamiczna zacisków i połączeń na zwiększony prąd szczytowy I_m .

Na rys. 1 przedstawiono charakterystyki dopuszczalnego obciążenia prądem zwarciovym I_r [kA] w czasie t_r [s] przewodów uziemiaczy o różnych przekrojach (mm^2Cu).



Rys.1 Dopuszczalne obciążenie prądem zwarciovym I_r [kA] przewodów zwierających o przekroju S (mm^2Cu) w czasie t_r [s]

5.2 Parametry zwarciove dla rozdzielni WN 110, 220 i 400kV są dostępne w Oddziałach Polskich Sieci Energetycznych SA.

Odpowiadające znormalizowanym czasy trwania zwarcia t_r w rozdzielniach WN:

- na szynach zabezpieczonych różnicowo - 0,25s
- na szynach niezabezpieczonych różnicowo - 0,5s

Na szynach głównych i odgałęźnych oraz polach liniowych rozdzielni WN zainstalowane są uziemniki stałe, zamykane w pierwszej i otwierane w ostatniej kolejności podczas czynności zabezpieczania miejsc pracy. Uziemiacze przenośne zakładane są dodatkowo na stanowisku roboczym tak, aby każda odłączona część urządzenia była uziemiona i nie pojawiło się napięcie zaindukowane z sąsiednich czynnych układów szyn. W tych warunkach, czasy działania zabezpieczeń podstawowych mogą być przyjęte jako czasy znamionowe t_{rt} [s] uziemiaczy przenośnych.

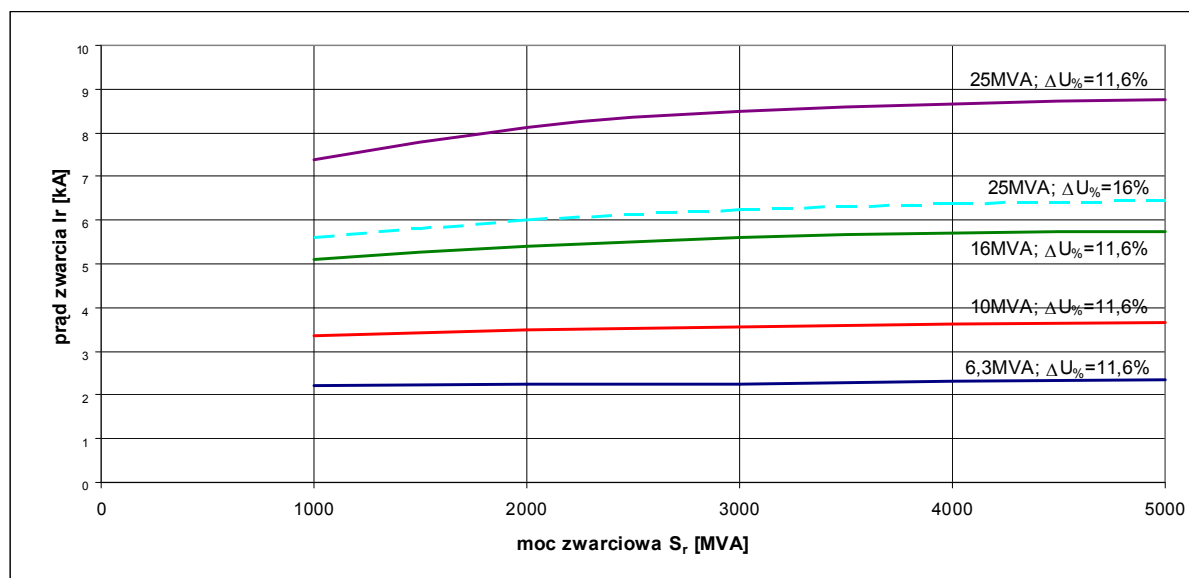
5.3 W liniach napowietrznych WN 110, 220 i 400kV wartości mocy S_r i prądów I_r zwarciovych na wyjściu są takie, jak na szynach rozdzielni WN, z których są zasilane.

Czasy trwania zwarcia t_r zależą od strefy działania zabezpieczeń odległościowych. Praktycznie można przyjąć za t_{rt} :

- I strefa (z pewną rezerwą) - 0,25s
- II strefa - 0,5s

Podobnie jak w rozdzielniach WN, uziemianie linii rozpoczyna się od zamknięcia noży uziemników stałych na obu końcach linii WN, następnie zakłada się dodatkowe uziemiacze w miejscu pracy. Po zakończeniu robót – jako ostatnie otwiera się uziemniki stałe. W tych warunkach, bez obawy (wypadków nie notowano) można przyjąć czas $t_r=0,25s$ jako znamionowy dla linii napowietrznych WN. W wyjątkowych przypadkach, po analizie, można go nawet skrócić.

5.4 W rozdzielni węzłowej SN w GPZ, wartość prądu zwarciovego I_r na szynach głównych zależy od: mocy zwarciovowej S_r w systemie WN oraz mocy znamionowej, napięcia zwarcia i przekładni transformatora zasilającego WN/SN.



Rys.2 Prąd zwarcia trójfazowego I_r na szynach 15kV, zasilanych z transformatorów 110/15kV, w zależności od mocy zwarciovowej S_r na szynach 110kV

W bardzo nielicznych przypadkach moc zwarciovowa na szynach 110kV przekracza 5000MVA, a moc transformatorów 110/15kV zasilających sieci 15kV – 25MVA. Z poglądowych charakterystyk na rys.2 wynika, że ustalony (w tym 0,75-sekundowy) prąd zwarcia I_r nie przekracza wartości 9kA. Wartość prądu $I_r=6,5kA$ nie jest przekroczona za transformatorami 16MVA i o mniejszych mocach, jak też za jednostką 25MVA o podwyższonym do 16% napięciu zwarcia.

Różne są czasy trwania zwarcia na szynach zbiorczych :

$t_r = 0,5s$ - przy dodatkowej ochronie szyn w większych rozdzielniach SN

$t_r = 2..3s$ - czas zabezpieczeń na zasilaniu z szyn transformatora.

Prądy I_{rt} i czasy t_{rt} znamionowe uziemiaczy oraz odpowiadające im przekroje przewodów zwierających ujęte są w charakterystykach na rys.1. Przekroje przewodów uziemiających, według wymagań normy (2.1) dla sieci SN zawiera tablica 1.

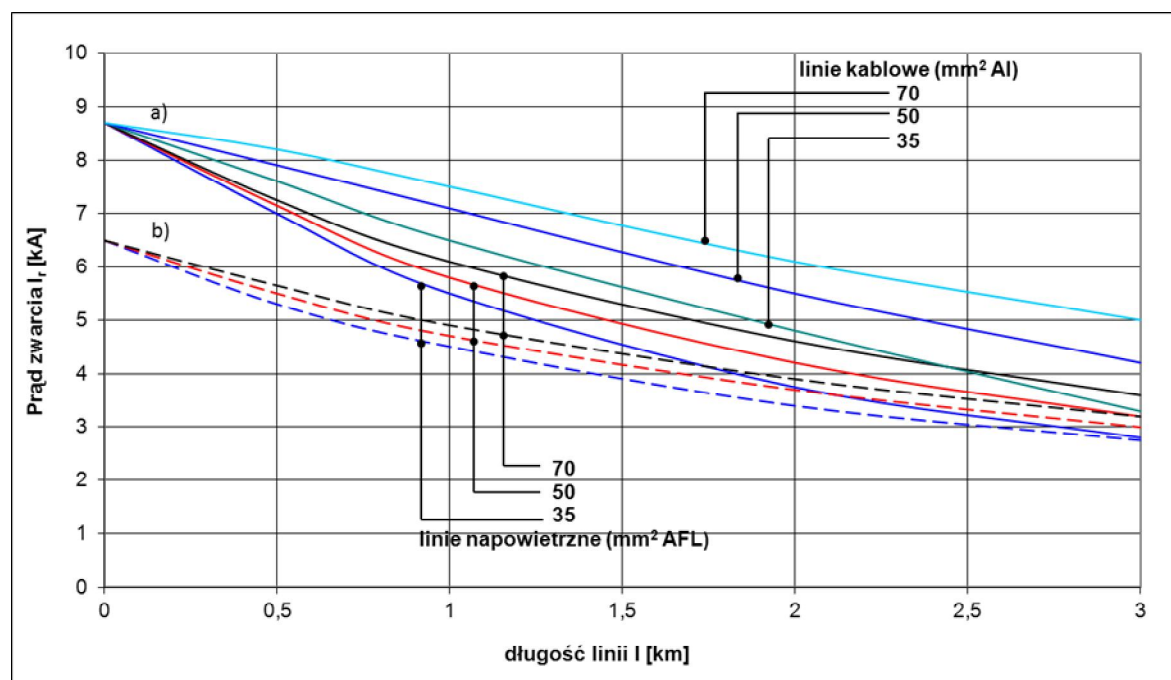
5.5 Prądy zwarciovowe I_{r1} na wyjściach liniowych SN z GPZ mają tę samą wartość, co na szynach zbiorczych. Dość jednolite dla linii są czasy trwania zwarć dalszych – $t_{rt}=0,5...0,9s$ i bliższych – $t_{rt}=0,25...0,3s$ (odsieczki).

Poglądowe charakterystyki ograniczania prądu zwarciovego I_r przez impedancje linii napowietrznych i kablowych (rys.3), wskazują, że w sieci 15kV zasilanej z transformatora 110/15kV, o mocy 25MVA i napięciu zwarcia 11,6% oraz mocy w systemie 110kV $S_r=5000MVA$:

- na początku linii prąd zwarcia $I_r < 9\text{kA}$
- w liniach napowietrznych po 1km, a w liniach kablowych po 2km - prąd zwarcia $I_r < 6,5\text{kA}$.

Jak podano w p.5.4, za transformatorami 25MVA o podwyższonym napięciu zwarcia ($\Delta U_{\%} \geq 16\%$), prądy I_r w sieci nie przekraczają 6,5kA.

W polach liniowych, przy głowicach kablowych, zainstalowane są uziemniki stałe. Kiedy do prac eksploatacyjnych na linii wyłącznik pozostaje otwarty, uziemniki są zamykane w pierwszej, a otwierane w ostatniej kolejności w czasie czynności związanych z zabezpieczaniem miejsca pracy.



Rys.3 Efekt ograniczania prądu zwarcia $I_r = f(l)$ przez linie napowietrzne i kablowe, zasilane z transformatorów 110/15kV o mocy 25 MVA i różnych napięciach zwarcia : a) 11,6 % b) 16% ; moc zwarcia po stronie pierwotnej $S_r = 5\,000\text{ MVA}$.

Praktyka potwierdza, że przekrój przewodów zwierających uziemiaczy przenośnych, przeznaczonych dla linii napowietrznych 15kV nie powinien przekraczać $25\text{ mm}^2\text{ Cu}$. W nietypowych sytuacjach, np.: czas działania zabezpieczeń jednej z linii $t_r = 2\text{s}$, można założyć uziemiacze podwójne - w czasie robót w pobliżu GPZ.

Miejska sieć kablowa 15kV, zasilana z transformatorów 110/15kV o mocy 25MVA i niskim napięciu zwarcia (starsze jednostki), bez „odsieczek” w zabezpieczeniach poszczególnych linii, oprócz uziemników stałych w GPZ powinna być uziemiana dodatkowo uziemiaczami z przewodami zwierającymi o przekroju $35\text{ mm}^2\text{ Cu}$; przewody uziemniające wg tablicy 1.

5.6 Sieci nn (0,4kV) w kraju zasilane są w większości z transformatorów o napięciu górnym 15kV, częściowo 20kV i w niewielkiej ilości 10 i 6 kV. Maksymalna moc transformatorów SN/nn w eksploatacji nie przekracza 630kVA.

Zabezpieczenia transformatorów po stronie SN stanowią bezpieczniki wielkiej mocy z wkładkami bezpiecznikowymi o prądzie znamionowym do 160A.

W tablicy 2 przedstawiono przykładowe obliczenia dla transformatora SN/nn – 15/0,4 kV/kV zabezpieczonego po stronie SN wkładkami bezpiecznikowymi VVa-C (prod. ETI-POLAM).

Tablica 2 Parametry zwarciove na szynach łaczeniowych transformatorów SN/0,4kV o mocy 630 kVA

Wielkości	Napięcie znamionowe transformatorów SN/0,4kV o mocy 630kVA			
	6	10	15	20
Prąd znamionowy wkładki bezpiecznikowej VVa-C [A]	100	63	50	40
Całka cieplna wyłączenia wkładki bezpiecznikowej $I^2 t_w$ [A ² s]	197000	50800	31300	18100
Zastępczy skuteczny prąd zwarcia 0,75-sekundowy po stronie SN - $I_{r0,75}$ [A]	513	260	204	155
Przekładnia SN/0,4kV	15	25	37,5	50
Zastępczy skuteczny prąd zwarcia 0,75-sekundowy po stronie 0,4kV - $I_{r0,75}$ [A]	7688	6506	7661	7767
Całka cieplna wyłączenia wkładki bezpiecznikowej $I^2 t_w$ przeliczona na stronę nn [A ² s]	44325000	31750000	44015625	45250000

Uziemiacze zakładane na szynach SN w komorach transformatorowych mogą mieć minimalny przekrój przewodów zwierających 16 mm²Cu - nawet za wkładkami topikowymi 160A ($I_r^2 \times t_w = 528000 \text{ A}^2\text{s}$).

Natomiast uziemiacze zakładane na szynach 0,4kV, łączących zaciski transformatora 630kVA z zabezpieczeniem głównym, powinny mieć przekroje przewodów zwierających 35 mm²Cu ($I_{r0,75}^2 \times t_{r0,75} = 60750000 \text{ A}^2\text{s}$), a uziemiacze zakładane na transformatorach 400 i 500 kVA - 25 mm²Cu ($I_{r0,75}^2 \times t_{r0,75} = 31687500 \text{ A}^2\text{s}$).

Dla transformatorów o mocy do 315 kVA włącznie wystarczą uziemiacze o przekroju przewodów zwierających 16 mm²Cu.

Parametry zwarciove dla uziemiania transformatorów SN/nn większych mocy, z wyłącznikami i zabezpieczeniami nadprądowo-czasowymi po stronie pierwotnej i wtórnej, ustala się indywidualnie.

5.7 W stacjach transformatorowych SN/nn, na wszystkich odejściach liniowych 0,4kV, zainstalowane są podstawy bezpiecznikowe lub rozłączniki z wkładkami topikowymi dużej mocy. W sieci wiejskiej i na obwodach oświetleniowych stosowano też gniazda bezpiecznikowe. Zarówno szczęki podstaw jak i gniazda są odpowiednimi punktami stałymi do zakładania uziemiaczy przenośnych na początku obwodu w miejscu wyłączenia.

Przewody zwierające uziemiaczy przenośnych, zakładanych w obwodach zabezpieczonych wkładkami topikowymi gG do 800A (wartość graniczna wyłączenia $I_r^2 \times t_w = 10000000 \text{ A}^2\text{s}$; IEC 60269-2-1), mogą mieć przekrój 16 mm²Cu ($I_{r0,75}^2 \times t_{r0,75} = 12000000 \text{ A}^2\text{s}$).

Ponieważ w obwodach 0,4kV nie spotyka się zabezpieczeń większych niż 400A ($I_r^2 \times t_w = 1600000 \text{ A}^2\text{s}$), tym bardziej dla zachowania lekkości sprzętu nie ma potrzeby stosowania przekrojów większych, szczególnie w uziemiaczach dla linii napowietrznych 0,4kV.

Gdyby jednak taka potrzeba zaistniała, to przewód łączący uziemiony już zacisk zerowy z „ziemią” (słup kratowy, zbrojenie słupa żelbetowego, sonda uziemiająca) może mieć przekrój 16 mm²Cu.

6. O zagrożeniach

6.1 Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna IEC opublikowała „Raport Techniczny IEC nr 479-1:1994”, którego celem jest dostarczanie podstawowych informacji – dotyczących działania prądów elektrycznych na ludzi i zwierzęta domowe – przeznaczonych do ustanawiania przepisów w zakresie bezpieczeństwa elektrycznego.

Do bardzo istotnych należy informacja o tym, że już jednosekundowy prąd rażenia o wielkości 50mA może wywołać migotanie komór sercowych. Wiadomo, że wtedy przy opóźnionej pomocy przedlekarskiej, spowodowanej np. zdejmowaniem porażonego ze słupa, skutek jest tragiczny.

6.2 Okoliczności i przyczyn zetknięcia się człowieka z prądem jest wiele, np.:

- pomyłki w identyfikacji miejsca pracy i wejścia na urządzenia czynne (pola w rozdzielni, linie napowietrzne)
- praca bez użycia odpowiedniego sprzętu ochronnego
- przypadkowy dotyk w czasie prac „w pobliżu”
- pojawienie się napięcia w czasie robót na skutek:
 - załączeń linii napowietrznych przez osoby postronne
 - włączenia na sieć agregatów prądotwórczych przez odbiorców energii elektrycznej
 - zwarć na otwartych szczękach łączników, spowodowanych przez ptaki, gałęzie itp.
 - zaindukowania z sąsiednich torów linii napowietrznych i systemów szyn.

6.3 Jeżeli uziemniki stałe i uziemiacze przenośne nie są dla zabezpieczenia miejsca pracy rozmieszczone tak, że w sumie stanowią zespół „połączeń wyrównawczych” pomiędzy przewodzącym stanowiskiem pracy i częściami urządzeń, które mogą się znaleźć pod napięciem, to uziemianie takie nie jest w pełni skuteczne. Nieskuteczność ta stanowi szczególne zagrożenie (były wypadki porażień) na liniach napowietrznych SN, zbudowanych na słupach przewodzących (stal, żelbet), gdy uziemiacze są założone poza stanowiskiem, na którym pracują ludzie. Każdemu pojawieniu się napięcia na linii towarzyszy płynący przez przewód uziemiający prąd doziemny I_E , który na rezystancji uziomu R_U wywołuje spadek napięcia $\Delta U = I_E \times R_U$ o znacznej wielkości. Spadek ten na stanowisku pracy jest napięciem dotykowym, a przy braku rękawic – napięciem rażenia.

Zagrożenie jest największe, gdy uziomem jest wysokooporowa sonda uziemiająca (suchy żwir, zmarznięty grunt). Wtedy, przy jednofazowych zwarcia z ziemią, mogą nie zadziałać zabezpieczenia ziemnozwarciowe.

W liniach napowietrznych WN zagrożeniem jest uziemianie w środku przęsła z użyciem sondy uziemiającej.

6.4 Wykorzystanie uziomów naturalnych, oprócz korzyści ekonomicznych, ma wpływ na zmniejszenie zagrożeń. Uziomy naturalne są trwalsze i mniej podatne na uszkodzenia.

W sieciach elektroenergetycznych uziomami naturalnymi są żelbetowe fundamenty i części podziemne słupów ŻN, BSW i in. z dostępem do zbrojenia. W słupach wirowanych typu E dostępu do zbrojenia brak, co uniemożliwia wykonanie połączeń z uziomami sztucznymi oraz konstrukcjami stalowymi pod izolatory. Brak tych ostatnich – w razie opadnięcia przewodu na konstrukcję – grozi niezadziałaniem zabezpieczeń ziemnozwarciowych ($R_p \approx 1000\Omega$) w liniach SN i uszkodzeniem słupów przez małe, ale długotrwałe prądy doziemne I_E . Znane są wypadki złamań słupów z bardzo ciężkimi skutkami dla ludzi.

6.5 Analizy przyczyn i okoliczności wypadków elektrycznych wskazują, jak ważna jest znajomość czynników wypadkogennych dla prawidłowej oceny ryzyka. Do zagrożeń należy m.in. zaliczyć też : pośpiech, dekoncentrację uwagi, uciążliwe metody pracy, nieodpowiedni i ciężki sprzęt oraz zwykłą ludzką omyłność.

Ważnym wskazaniem dla zmniejszenia ryzyka w czasie prac na urządzeniach wyłączonych spod napięcia – może być bezwypadkowość w czasie prac technologią pod napięciem (ppn). Zasadnicze znaczenie mają tu:

- nieustanna świadomość u wykonawców robót obecności napięcia na urządzeniu
- jednoosobowa odpowiedzialność kierującego zespołem (brygadzysty) za jakość i bezpieczeństwo pracy.

Wynika stąd, że zagrożeniem jest nieuzasadnione rozproszenie obowiązków i odpowiedzialności na kilka osób, co zwiększa prawdopodobieństwo niedoinformowania, przekłamań i dekoncentracji uwagi u wykonawców.

7. Wymagania przepisów oraz skuteczne uziemianie urządzeń elektroenergetycznych

7.1 Obowiązujące przepisy (2.4) określają ogólne wymagania w zakresie zabezpieczania miejsc pracy.

Przed przystąpieniem do wykonywania prac przy urządzeniach i instalacjach elektrycznych wyłączonych spod napięcia należy :

- 1) zastosować odpowiednie zabezpieczenia przed przypadkowym załączeniem napięcia,
- 2) wywiesić tabliczkę ostrzegawczą w miejscu wyłączenia obwodu o treści : „Nie załączać”,
- 3) sprawdzić brak napięcia w wyłączonym obwodzie,
- 4) uziemić wyłączone urządzenia,
- 5) zabezpieczyć i oznaczyć miejsce pracy odpowiednimi znakami i tablicami ostrzegawczymi.

Uziemienia należy wykonać tak, aby miejsce pracy znajdowało się w strefie ograniczonej uziemieniami; co najmniej jedno uziemienie powinno być widoczne z miejsca pracy.

W razie zasilania wielostronnego, uziemienia winny być wykonane od każdej strony zasilania.

Norma (2.3) ściślej określa, że wszystkie części, na których będzie wykonywana praca, powinny być uziemione i zwarte tak, aby nie wystąpiły niebezpieczne różnice potencjałów. W praktyce oznacza to połączenie z uziemionym stanowiskiem (konstrukcje stalowe, żelbetowe) swartych faz w miejscu pracy. Uziemiacze powinny spełniać rolę połączeń wyrównawczych, jako skutecznego środka ochrony przeciwporażeniowej.

7.2 Uziemianie oraz towarzyszące mu czynności, należy wykonywać przy użyciu sprzętu ochrony osobistej, w zakresie przewidzianym w szczegółowych instrukcjach stanowiskowych i fabrycznych.

7.3 Uziemianie urządzeń elektroenergetycznych

7.3.1 Rozdzielnie napowietrzne WN : 110, 220 i 400kV budowane są na ekwipotencjalnej siatce uziemiającej, z którą połączone są wszystkie stalowe konstrukcje wsporcze i obudowy urządzeń. Zainstalowane na szynach rozdzielni i odejściach uziemniki stałe oraz dodatkowe uziemiacze przenośne na stanowiskach roboczych zapewniają skuteczne zabezpieczenie miejsc pracy w sposób widoczny. Uziemianie na stanowisku pracy chroni też przed napięciami indukowanymi.

7.3.2 Linie napowietrzne WN 110, 220 i 400kV budowane są na stalowych masztach, ustawionych na żelbetowych fundamentach. Uziomy sztuczne i naturalne poszczególnych stanowisk, połączone poprzez konstrukcje słupów przewodami odgromowymi, wraz z uziomami stacji krańcowych tworzą jednolity system uziemiający. Dla prac elektrycznych blokowana jest automatyka SPZ i zamykane są uziemniki stałe na końcach linii. W tych warunkach skuteczną ochronę w miejscu pracy zapewnią :

- przy zachowaniu ciągłości wszystkich przewodów – jeden widoczny, łączący przewody robocze z konstrukcją słupa uziemiać przenośny;
- przy braku ciągłości przewodów, np. rozłączone mostki, każda odłączona część winna być w skuteczny sposób uziemiona, najkorzystniej na stanowisku roboczym. Najłatwiejsze w użyciu są uziemiacze pojedyncze U1.

Uwaga : Zakładanie uziemiaczy przenośnych poza stanowiskami pracy, np. w środku przęsła (najniżej), jest dopuszczalne pod warunkiem połączenia sondy uziemiającej ze słupem, na którym pracują ludzie.

7.3.3 Przy pracach wykonywanych przy wyłączonym jednym torze dwutorowej elektroenergetycznej linii napowietrznej 110, 220 i 400kV należy :

- 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 rozłączaniu lub łączeniu,
 - c) na przewód odgromowy w miejscu wykonywania na nim prac w warunkach przerwania metalicznego połączenia przewodu odgromowego z konstrukcją słupa.

7.3.4 Przy pracach wykonywanych przy wyłączonej jednotorowej elektroenergetycznej linii napowietrznej należy założyć dodatkowe uziemiacze, o których mowa w p.7.3.3.3, jeżeli przebiega ona równolegle na odcinkach o łącznej długości większej niż 2 km od elektroenergetycznej linii napowietrznej o napięciu znamionowym :

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

7.3.5 Uziomy węzłowych rozdzielni SN w GPZ i PZ oraz zasilanych z nich kablami stacji transformatorowych SN/nn – wraz z siecią nn pracującą w układzie TN – tworzą wspólny system uziemiający o małej rezystancji.

W polach odejściowych rozdzielni węzłowych SN, przy głowicach kablowych instalowane są uziemniki stałe.

Na szynach zbiorczych i odgałęźnych rozdzielni węzłowych SN i wewnętrznych stacji transformatorowych, niezbędne jest przygotowanie stałych punktów przyłączenia (3.3) dla zacisków fazowych uziemiaczy, aby umożliwić poprawne ich zakładanie przy obustronnym uziemianiu miejsca pracy.

7.3.6 Linie kablowe SN i nn do prac uziemiane są na końcach : w stacjach transformatorowych SN/nn, w szafkach rozdzielczych i złączach kablowych, gdzie zawsze jest dostęp do wspólnego systemu uziemiającego. Przy głowicach kabli SN, jeżeli nie ma uziemników stałych, powinny być przygotowane stałe punkty przyłączenia (3.3).

Końcówki kabli nn podłączone są do podstaw bezpiecznikowych, których szczęki, lub gniazda są stałymi punktami przyłączenia dla uziemiaczy przenośnych dobranego typu.

Wszystkie odłączone od szyn i urządzeń żyły kabli SN i nn powinny być zwarte i uziemione przy pomocy np. zwieraczy z zaciskami kleszczowymi. Zwieracze takie przydatne są również dla czasowego uziemiania wolnych żył przy montażu muf i głowic kablowych.

Przy naprawach na trasie, sprzęt służący do przecinania powinien być połączony z uziomem naturalnym, a w razie jego braku – z sondą uziemiającą, wbity tuż przy przecinanym kablu.

7.3.7 W liniach napowietrznych SN, słupy kratowe i ze zbrojonego betonu są w naturalny sposób uziemione. Rezystancja przejścia do gruntu części podziemnych na ogół nie przekracza 120Ω . Z opisanych w p. 6.3 zagrożeń wynika, że najskuteczniejszą i przy użyciu lekkiego sprzętu – najłatwiejszą metodą zabezpieczenia przed porażeniami jest połączenie zwartych przewodów roboczych ze słupem, na którym odbywa się praca. Uziemiacze spełniają wtedy rolę połączeń wyrównawczych wszystkich odłączonych części z przewodzącym słupem i są zarazem wskaźnikiem braku napięcia.

Na suchych słupach drewnianych zagrożenie jest mniejsze i wystarczy przestrzeganie przepisu, żeby miejsce pracy znajdowało się w strefie ograniczonej uziemieniami i co najmniej jedno uziemienie na każdym odłączonym odcinku linii było widoczne. Jako uziomy służą wbite w grunt sondy uziemiające.

Podczas przeglądów linii na słupach przewodzących, wykonywanych przez kilka brygad, kiedy wyłączony odcinek lub odgałęzienie są na krańcach i w miejscach pracy uziemione tak, że wypadkowa rezystancja uziomów (R_w) nie przekracza kilku omów i napięcie dotykowe ($U_T = I_R \times R_w$) kilkudziesięciu woltów – nie ma konieczności zakładania uziemiaczy na każdym słupie, na którym pracuje człowiek. Wystarczy zachowanie przepisowych zasad, jak dla suchych słupów drewnianych.

7.3.8 Słupy żelbetowe linii napowietrznych nn są w naturalny sposób uziemione. Wypusty pospawanej ze zbrojeniem bednarki stanowią stałe punkty przyłączenia zacisków uziemiających.

W sieci nn pracującej w układzie TN, rolę systemu uziemiającego pełni wielokrotnie uziemiony przewód zerowy PEN. Przy zachowaniu ciągłości przewodu zerowego, połączenie z nim zwartych przewodów fazowych przy pomocy zwieracza (Z) zapewnia już bezpieczną pracę. Uziemiacze (U) są niezbędne, jeżeli linia nn, na której odbywa się praca – krzyżuje się z inną czynną linią elektroenergetyczną czy trakcyjną, lub jest do nich niebezpiecznie zbliżona. Wtedy też, miejsca dodatkowo zakładanych uziemiaczy przenośnych, należy opisać w poleceniu na pracę.

8. Optymalizacja w gospodarce uziemiaczami

8.1 W uziemiacze przenośne wyposażone są :

- rozdzielnie WN 110,220 i 400 kV oraz stacje WN/SN
- brygady pogotowia w rejonach energetycznych
- brygady wykonawstwa w rejonach sieciowych.

Optymalizacja polega na doborze w miarę ujednoliconego, lekkiego i łatwego w obsłudze sprzętu uziemiającego, który jednocześnie umożliwia uziemianie w sposób skuteczny.

O lekkości uziemiaczy decyduje głównie długość i przekrój przewodów zwierających i uziemiających.

Na łatwość obsługi ma wpływ przede wszystkim konstrukcja zacisków fazowych, a korzystna jest również ograniczona do rzeczywistych potrzeb długość przewodów.

W rozdzielniach WN i SN niezbędne jest zainstalowanie na szynach stałych punktów przyłączenia (p.3.3).

W uziemiaczach wielofazowych, więcej zalet ma szeregowe łączenie zacisków.

Dane wyjściowe do obliczeń wartości znamionowych uziemiaczy dla urządzeń elektroenergetycznych WN i SN, znajdują się w tabelarycznych zestawieniach stacji WN, opracowywanych przez Oddziały PSE SA na potrzeby każdego Zakładu Energetycznego.

Pracę ułatwia nowe zestawienie tabelaryczne z pogrupowanymi wg Rejonów Energetycznych stacjami WN i dodatkowymi kolumnami dla obliczonych reaktancji systemu zasilającego WN i transformatorów WN/SN oraz prądów zwarciovych i całek Joule'a na wszystkich poziomach napięć i urządzeń jak :

- szyny zbiorcze i pola odejściowe WN
- szyny zbiorcze i pola odejściowe SN.

Przy obliczeniach, analizie wyników i wyborze optymalnych przekrojów przewodów uziemiaczy, pomocne będą charakterystyki z rysunków 1,2 i 3.

8.2 Wartości znamionowe uziemiaczy, przeznaczonych na wyposażenie rozdzielni WN 110, 220 i 400 kV, ustalane są indywidualnie, stosownie do występujących na szynach wielkości prądów zwarcia I_r i całek Joule'a $I_r^2 \times t_r$.

Najłatwiejsze w obsłudze są uziemiacze jednofazowe (U1) o długościach przewodów :

- dla rozdzielni 400kV – 8m
- dla rozdzielni 110 i 220 kV – 6m.

Również indywidualnie ustala się wartości znamionowe uziemiaczy dla rozdzielni SN w stacjach WN/SN. Powszechnie przyjęły się uziemiacze trójfazowe lekkie (U3L) szeregowe, z przewodami o długościach : uziemiające $L_1=3m$, zwierające $L_2=1m$.

8.3 Uziemiacze przenośne dla linii WN 110, 220 i 400 kV stanowią wyposażenie brygad specjalistycznych. Do zakładania na słupach kratowych najwygodniejsze są uziemiacze jednofazowe (U1) o długościach :

- dla linii napowietrznych 400kV – 8m
- dla linii napowietrznych 110 i 220 kV – 6m.

Jednakowe długości przewodów dla sieci i stacji umożliwiają w szczególnych przypadkach wspólne wykorzystywanie.

W zależności od wartości prądów zwarciovych I_r i całek Joule'a $I_r^2 \times t_r$ w poszczególnych liniach, obsługiwanych przez daną jednostkę organizacyjną, wybiera się jeden lub dwa przekroje przewodów., korzystając z informacji podanych w p.5.3.

8.4 Najbardziej uzasadnione jest ujednoczenie przekroju przewodów zwierających uziemiaczy dla sieci SN, przeznaczonych na wyposażenie brygad pogotowia i wykonawstwa w Rejonie Energetycznym.

W praktyce widoczny jest podział na :

- Rejony Energetyczne wielkomiejskie, obsługujące sieć kablową z wewnętrznymi stacjami transformatorowymi SN/nn, zasilaną często transformatorami 25 MVA o niższym (dawne jednostki) napięciu zwarcia.
- Rejony Energetyczne w mniejszych miastach, obsługujące niewielką sieć kablową z wewnętrznymi stacjami transformatorowymi SN/nn oraz rozległą terenowo sieć

napowietrzną, zbudowaną prawie wyłącznie na słupach żelbetowych; moce transformatorów WN/SN z niewielkimi wyjątkami nie przekraczają 16 MVA.

Przy obecnym stanie zabezpieczeń liniowych w GPZ, dla sieci kablowych o napięciu 15 i 20 kV, odpowiednie będą uziemiacze trójfazowe lekkie (U3L), szeregowo, z przewodami uziemiającymi o długości $L_1=3\text{m}$ i przekroju $16\text{ mm}^2\text{Cu}$ oraz przewodami zwierającymi o długości $L_2=1\text{m}$ i przekroju 25 mm^2 lub $35\text{ mm}^2\text{Cu}$.

Dla linii napowietrznych 15 i 20 kV na słupach żelbetowych najbardziej przydatne są uziemiacze trójfazowe lekkie (U3L), szeregowo, z przewodami uziemiającymi o długości $L_1=3,5\text{m}$ i przekroju $16\text{ mm}^2\text{Cu}$ oraz przewodami zwierającymi o długości $L_2=3\text{m}$ i przekroju $25\text{ mm}^2\text{Cu}$ (p.5.5). Przy bardzo nielicznych (ok. 1%) słupach drewnianych potrzebny jest wtedy dodatkowy przewód (atestowany przedłużacz) z sondą uziemiającą. Długość sondy uziemiającej 1m, długość przewodu uziemiającego 8m, a przekrój jak w uziemiaczach - $16\text{ mm}^2\text{Cu}$. Rozwiązanie takie ze względów ergonomicznych jest korzystniejsze niż uziemiacze ze zbyt długim (dla 99% przypadków), bo 10m przewodem uziemiającym.

8.5 Dla uziemiania sieci kablowych nn odpowiednie są uziemiacze trójfazowe z przewodami uziemiającymi o długości $L_1=1\text{m}$ oraz przewodami zwierającymi o długości $L_2=0,3\text{m}$ do potrójnych podstaw bezpiecznikowych dużej mocy oraz $L_2=0,5\text{m}$ – do podstaw pojedynczych w układzie pionowym. Wszystkie przewody o przekroju max $35\text{ mm}^2\text{Cu}$ (p.5.6).

Ze względu na to, że w nowo instalowanych rozłącznikach bezpiecznikowych głębiej są ulokowane szczęki dla wkładek topikowych, konieczna jest odpowiednia konstrukcja zacisków fazowych.

Uziemiacze zakładane w gniazdach bezpiecznikowych wykonywane są w dwóch odmianach - do uziemiania od strony zasilania (śruba stykowa) i odejścia (gwint) oraz do uziemiania tylko na odejściu (gwint) linii nn, najczęściej oświetleniowej.

Jednolity przekrój przewodów uziemiaczy - $16\text{ mm}^2\text{Cu}$.

Długość przewodów : uziemiający - $L_1=1\text{m}$, zwierające szeregowo trzy zaciski (U3) - $L_2=0,3\text{m}$.

Jednofazowe obwody oświetleniowe na terenach wiejskich są uziemiane uziemiaczami pojedynczymi (U1) o długości $L_1=1\text{m}$.

8.6 Uziemiacze dla linii napowietrznych nn, w zdecydowanej większości wiejskich, z dodatkowym przewodem zasilającym oświetlenie uliczne, wykonywane są w układzie pięcio- (U5), a nawet sześci zaciskowym (U6).

Dodatkowe zaciski mogą też być wykorzystywane do uziemiania odgałęzień, czy przyłączy. Optymalne długości przewodów : uziemiających $L_1=2\text{m}$, zwierających $L_2=0,7\text{m}$. Przy płaskim układzie 4 przewodów linii głównej, jeden z przewodów zwierających zaciski fazowe powinien mieć długość $L_2=1\text{m}$ (pomiędzy „0” i przewodem oświetleniowym).

Przekroje wszystkich przewodów uziemiaczy nie powinny przekraczać $16\text{ mm}^2\text{Cu}$. (p.5.7).

9. Użytkowanie, konserwacja , naprawy i wycofanie z eksploatacji

9.1 Ze względu na bezpieczeństwo, ze sprzętem uziemiającym i zwierającym należy się obchodzić z wielką pieczołowitością. Uziemiacze, w stanie czystym, powinny być przechowywane i przewożone w pokrowcach. Przy temperaturach poniżej -15°C korzystne jest ich zabieranie na roboty z cieplejszych pomieszczeń.

W czasie robót na liniach napowietrznych, uziemiacze powinny być wciągane i opuszczane przy pomocy linki. Uziemiacze z kilkoma zaciskami śrubowymi, zaopatrzone w pomocniczy wieszak, umożliwiają łatwiejsze i bezpieczniejsze manipulacje przy pomocy izolacyjnego drążka uziemiającego.

Przed każdorazowym użyciem uziemiacz powinien być dokładnie kontrolowany. Uszkodzenie izolacji przewodu, lub pokazanie się gołego przewodu, powinno być uważane za uszkodzenie poważne i w tym przypadku należy rozważyć wycofanie uziemiacza z eksploatacji. Poważną usterką jest też niesprawny zacisk fazowy lub uziemiający.

9.2 Stosownie do potrzeb, bieżąca konserwacja, w praktyce ogranicza się do utrzymywania uziemiaczy w czystości, za pomocą ogólnie stosowanych środków. Do zmywania tłuszczu, osadów i zabrudzeń można zastosować np. benzynę ekstrakcyjną. Nie wolno natomiast używać rozpuszczalników nitro, poliuretanowych, czy poliwinylowych do czyszczenia przewodów oraz uchwytów izolacyjnych.

Zabrudzoną powierzchnię uchwytów izolacyjnych z włókna poliestrowo-szklanego można przetrzeć drobnym płótnem ściernym, a następnie pomalować lakierem poliuretanowym.

9.3 Uchwyty izolacyjne zacisków fazowych, wykonane z pełnych prętów z włókna poliestrowo-szklanego, nie wymagają okresowych prób napięciowych.

9.4 Uziemiacze na wyposażeniu brygad pogotowia i wykonawstwa są często intensywnie użytkowane w trudnych warunkach terenowych, stąd szybszy jest proces ich zużycia. Nawet drobne uszkodzenia zacisków lub izolacji przewodów powinny być naprawiane w wyspecjalizowanym warsztacie, aby sprzęt zawsze, jakościowo spełniał wymagania normy (2.1). W razie trudności w usunięciu usterki we własnym zakresie, należy zasięgnąć porady i pomocy u producenta.

Najbardziej narażonymi na uszkodzenia mechaniczne są przewody uziemiacza, zarówno izolacja jak i linka Cu. Drobne uszkodzenia izolacji można zabezpieczyć taśmą samowulkanizującą i wężykiem termokurczliwym. W razie uszkodzenia izolacji i linki przy zacisku fazowym, czy uziemiającym, przewód należy przeciąć, zaprasować przepisowo nową końcówkę kablową i całość zabezpieczyć kilkoma warstwami wężyka termokurczliwego.

9.5 W uziemiaczach sprzed kilkunastu i więcej lat, stosowano przewody złożone z miedzianej, drobnożyłowej linki giętkiej, wciągniętej w koszulki z termoplastycznego polichlorku winylu. Przy niezachowaniu szczelności, długotrwałym działaniu słońca i wilgoci, korozji ulega (czernieje) linka miedziana. Przewody takie nie nadają się do dalszej eksploatacji, gdyż znacznie zmniejszona jest ich wytrzymałość cieplna.

Zgodnie z normą (2.1), urządzenie, które zostało poddane działaniu prądu zwarciovego powinno zostać wycofane z eksploatacji, chyba że zostanie stwierdzone drogą dokładnych badań, obliczeń i kontroli, że oddziaływanie prądu było na tyle umiarkowane, że nie spowodowało negatywnych skutków mechanicznych lub cieplnych. Jeżeli istnieje jakakolwiek wątpliwość co do dobrego stanu urządzenia, to powinno być wycofane z eksploatacji.