

## ZASTOSOWANIE WKŁADEK TOPIKOWYCH O CHARAKTERYSTYCE SZYBKIEJ I BARDZO SZYBKIEJ W OBWODACH LINII NAPOWIETRZNYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

Mirosław SCHWANN

KENTIA Firma Konsultingowa, Wejherowo  
tel.: 605 432 907 e-mail: miroslaw.schwann@kentia.pl

**Streszczenie:** Pomiary eksploatacyjne wykazują w niektórych obwodach linii napowietrznych niskiego napięcia nieskuteczną ochronę przed porażeniem prądem elektrycznym. Powszechnie stosowane i sprawdzone metody na jej poprawę wymagają nakładów inwestycyjnych i czasu niezbędnego na ich realizację. Niekiedy w tych obwodach zastępuje się wkładki topikowe o charakterystyce gG na wkładki o charakterystyce szybkiej gF, o ile analiza wykaże, że samoczynne wyłączenie zasilania nastąpi w wymaganym przepisami czasie. W artykule zaproponowano zastosowanie wkładek topikowych o charakterystyce bardzo szybkiej (aR, gR, gS), stosowanych m.in. jako wkładki topikowe serwisowe oraz wykorzystywane do poprawy bezpieczeństwa przy wykonywaniu prac pod napięciem. Proponowane rozwiązanie będzie jako tymczasowe do czasu realizacji rozwiązań wymagających nakładów inwestycyjnych.

**Słowa kluczowe:** linie napowietrzne niskiego napięcia, ochrona przeciwporażeniowa, samoczynne wyłączenie zasilania, wkładki topikowe o charakterystyce szybkiej, wkładki topikowe o charakterystyce bardzo szybkiej.

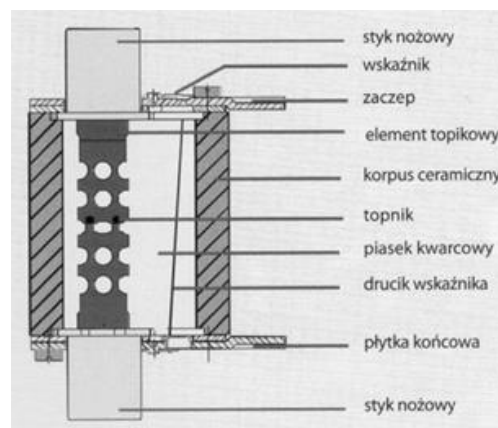
### 1. WSTĘP

Bezpieczniki są najstarszymi zabezpieczeniami stosowanymi powszechnie w urządzeniach i instalacjach elektroenergetycznych. Zabezpieczają przed przetężeniami, a przede wszystkim przed skutkami zwarć, ze względu na fakt, że ich przydatność jako zabezpieczeń przeciążeniowych jest dość ograniczona [1, 2].

Bezpieczniki, a dokładniej bezpieczniki topikowe, to aparaty, które wskutek przetopienia jednego lub więcej specjalnie skonstruowanych i dobranych topików przerywają obwód, w którym są umieszczone, wyłączając prąd, kiedy przekracza on określoną wartość w wystarczająco długim czasie. Bezpiecznikiem topikowym jest zestaw części tworzących kompletny aparat. Natomiast wkładka topikowa to część bezpiecznika zawierająca topik lub topiki, przeznaczona do wymiany po zadziałaniu bezpiecznika [3, 4]. Budowa wkładki topikowej niskiego napięcia została przedstawiona na rys. 1.

W obwodach linii napowietrznych niskiego napięcia od wielu lat powszechnie stosowane są wkładki topikowe przemysłowe o wielkościach wymiarowych WT-00, WT-1 i WT-2. Najczęściej są to wkładki o pełzakresowej zdolności wyłączenia i ogólnego przeznaczenia często opisywane jako wkładki topikowe o charakterystyce gG [5].

W tych obwodach, gdzie pomiary eksploatacyjne wykazały nieskuteczną ochronę przeciwporażeniową (napięcia dotykowe przekraczają wartości dopuszczalne i nie można uzyskać samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie) od wielu lat w Polsce dość odważnie sięga się po wkładki topikowe o pełzakresowej zdolności wyłączenia i charakterystyce szybkiej często opisywane jako wkładki topikowe o charakterystyce gF [5].



Rys. 1. Budowa wkładki topikowej mocy niskiego napięcia [6, 7]

Są jednak takie obwody linii napowietrznej, gdzie zastosowanie wkładek topikowych o charakterystyce gF jest niewystarczające, aby wykazać skuteczne działanie ochrony przeciwporażeniowej. Konieczne wówczas jest zmniejszenie impedancji pętli zwarcia poprzez inwestycje wymagające nakładów, które wymagają pewnych przygotowań i przede wszystkim czasu na ich realizację.

Jako tymczasowe rozwiązanie, alternatywne do czasu zaplanowania i realizacji inwestycji, można przyjąć stosowanie wkładek topikowych o niepełno- i pełzakresowych zdolnościach wyłączenia i charakterystykach bardzo szybkich (niekiedy w literaturze opisywanych jako wkładki topikowe o charakterystykach ultraszybkich), dla tych obwodów, dla których możliwe będzie wykazanie skutecznego działania ochrony przeciwporażeniowej. Do tej pory wkładki topikowe o charakterystykach bardzo szybkich (aR, gR i gS) były stosowane powszechnie do zabezpieczania półprzewodników (obwodów zasilających urządzenia

półprzewodnikowe) i do specjalnego zastosowań [8, 9, 10, 11]. W ostatnich latach producenci i dostawcy ww. wkładek wskazali ich nowe zastosowanie – jako wkładki topikowe serwisowe [12, 13, 14, 15], w szczególności do ograniczania ryzyka związanego z zagrożeniem wystąpienia prądu zwarciowego w strefie prac pod napięciem (PPN) wykonywanych przy urządzeniach rozdzielczych i kablowych niskiego napięcia (nn).

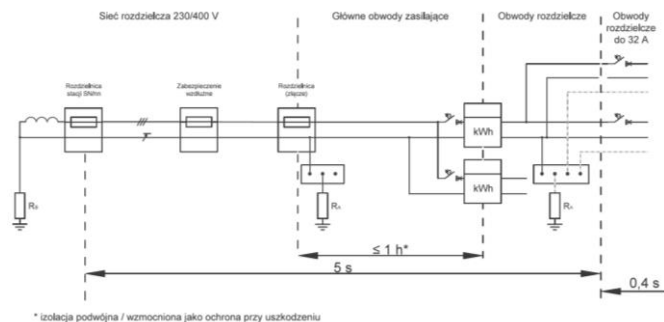
## 2. WYMAGANIA NORMATYWNE W ZAKRESIE OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ W LINIACH NAPOWIETRZNYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

Układ TN powinien być jedynym układem stosowanym w publicznych sieciach rozdzielczych. Należy też preferować ten układ w instalacjach odbiorczych, chyba że są szczególne powody uzasadniające inny wybór (TT, a wyjątkowo IT).

W układzie TN najpowszechniej stosowanym środkiem ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej (ochrony przy uszkodzeniu) jest samoczynne wyłączenie zasilania. Ogół wymagań dla instalacji w układzie TN o napięciu 230/400 V przedstawiono w tablicy 1. i na rys. 2.

Tablica 1. Zestawienie wymagań odnośnie do czasu samoczynnego wyłączenia zasilania w trójfazowych instalacjach prądu przemiennego o napięciu 230/400 V w układzie TN [4, 16, 17]

Rodzaj obwodu	Układ TN
Obwody odbiorcze o prądzie znamionowym $I_n \leq 32$ A	0,4 s
Obwody odbiorcze o prądzie znamionowym: - $I_n = 32$ A zasilające tylko podłącz. na stałe urz. elekt. - $I_n = 63$ A zasilające co najmn. jedno gniaz. wtyk.	5 s
Obwody rozdzielcze o dowolnym prądzie znam.	5 s
Obwody sieci rozdzielczej zasilające instalację oraz główny obwód zasilający budynku w wykonaniu o izolacji podwójnej lub wzmocnionej	Samoczynne wyłączenie przez poprzedzający bezpiecznik o prądzie znamionowym $I_{nf}$ Prąd wyłączający: $1,6I_{nf}$ – norma [4], $2I_{nf}$ – norma [17]
Obwody, w których nie sposób uzyskać samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie	Miejscowe połączenia wyrównawcze ochronne ograniczające długostrwałę utrzymujące się napięcie dotykowe na poziomie dopuszczalnym długostrwałę

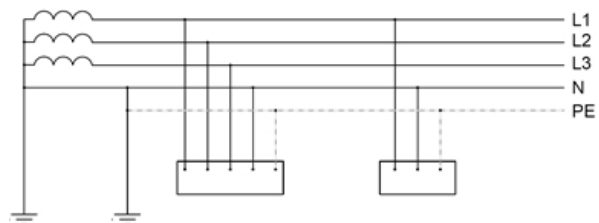


Rys. 2. Wymagany czas samoczynnego wyłączenia zasilania w instalacjach odbiorczych prądu przemiennego o napięciu 230/400 V w układzie TN

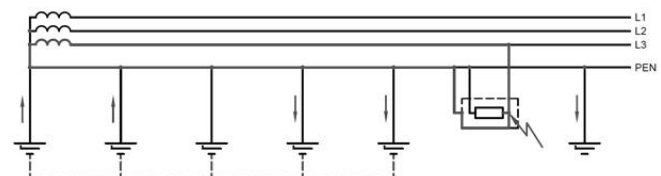
W układzie TN najmniejszy czas samoczynnego wyłączenia zasilania, nie dłuższy niż 0,4 s, wymagany jest w obwodach odbiorczych o prądzie znamionowym nie większym niż 32 A. Czas nie dłuższy niż 5 s dopuszcza się w obwodach odbiorczych, o prądzie znamionowym 32 A, zasilających tylko podłączone na stałe urządzenia elektryczne oraz w obwodach odbiorczych o prądzie znamionowym 63 A zasilające co najmniej jedno gniazdo wtykowe. Taki sam czas samoczynnego wyłączenia zasilania jest dozwolony w obwodach sieci rozdzielczych nn, w tym obwodach linii napowietrznych. Czas znacznie większy, nie dłuższy niż 1 godzina, dopuszczają normy w obwodzie głównym zasilającym budynek, łącznie z pierwszą rozdzielnicą, jeżeli mają one wykonanie równoważne izolacji podwójnej lub wzmocnionej (przewody kablukowe lub kable), a zwarcie doziemne zostanie wyłączone przez zabezpieczenie poprzedzające w sieci rozdzielczej.

## 3. STOSOWANIE WKŁADEK TOPIKOWYCH DO ZABEZPIECZANIA LINII NAPOWIETRZNYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

Sieci rozdzielcze niskiego napięcia eksploatowane w Polsce, w tym linie napowietrzne, są w większości w układzie TN-C (rys. 3). W poprawnie wykonanym układzie TN-C, z wielokrotnym uziemieniem przewodów ochronno-neutralnych (PEN), tylko znikomą część prądu zwarcia L-PEN (nawet mniej niż 1%) wraca do źródła poprzez uziemienia i ziemię (rys. 4) W takich przypadkach impedancja pętli zwarcia doziemnego L-PEN, w następstwie uszkodzenia izolacji podstawowej, jest w zasadzie w całości złożona z impedancji przewodów linii napowietrznych. Dzięki temu, że prąd przy takim zwarciu jest duży i wynosi od 50 do 60% prądu zwarcia trójfazowego, do samoczynnego wyłączenia zasilania wystarczają zabezpieczenia nadprądowe: wyłączniki nadprądowe lub bezpieczniki, przy czym w liniach napowietrznych niskiego napięcia w Polsce powszechnie stosuje się jedynie bezpieczniki - jako samodzielne aparaty w podstawach bezpiecznikowych lub w rozłącznikach izolacyjnych z bezpiecznikami albo w rozłącznikach bezpiecznikowych. Zabezpieczenia te i tak są wymagane w każdym obwodzie w celu ograniczenia cieplnych i elektrodinamicznych skutków zwarć. Tak więc rozszerzenie ich funkcjonalności, bez wzrostu dodatkowych kosztów, dla celów ochrony przeciwporażeniowej, jest jak najbardziej pożądane [18, 19].



Rys. 3. Sieć rozdzielcza niskiego napięcia w układzie TN-C i sieć odbiorcza w układzie TN-C-S



Rys. 4. Pętla zwarcia L-PEN w układzie TN-C w całości złożona z przewodów linii napowietrznej

#### 4. POPRAWA DZIAŁANIA OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ W LINIACH NAWIETRZNYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

Pomiary eksploatacyjne wynikające z Prawa budowlanego [21], w szczególności z Art. 62 ust. 1 pkt 2, wykonywane cyklicznie przez służby eksploatacyjne operatora sieci rozdzielczych, m.in. w celu sprawdzenia skuteczności działania środków ochrony przed porażeniem, niekiedy wykazują nieskuteczne działanie tej ochrony, w szczególności w długich, przekraczających 500 m, a nawet i 1000 m, obwodach linii nawiętrznych niskiego napięcia.

Ze względu na fakt, że w układzie TN-C impedancja pętli zwarcia doziemnego L-PEN, w następstwie uszkodzenia izolacji podstawowej, jest w całości złożona z impedancji przewodów linii nawiętrznych poprawa skuteczności działania ochrony przeciwporażeniowej sprowadza się do dwóch metod.

Pierwsza metoda polega na zmniejszeniu impedancji pętli zwarcia doziemnego L-PEN poprzez:

- wymianę istniejących przewodów obwodu linii nawiętrznej niskiego napięcia na przewody o większym przekroju;
- skrócenie istniejących obwodów linii nawiętrznej niskiego napięcia poprzez zmianę topologii sieci;
- montaż dodatkowego obwodu niskiego napięcia, poprzez podwieszenie go na istniejących konstrukcjach wsporczych) i przyłączenie do niego niektórych odbiorców.

Wszystkie trzy sposoby pierwszej metody wymagają nakładów inwestycyjnych, które muszą się pojawić w planie inwestycyjnym. W wielu przypadkach konieczne jest wykonanie i uzgodnienie dokumentacji projektowej, a co najmniej wytycznych, jako dokumentacji uproszczonej. Wykonanie tych czynności powoduje przesunięcie w czasie działań zmierzających do poprawy skuteczności działania ochrony przeciwporażeniowej, na co, biorąc pod uwagę odpowiedzialność za bezpieczeństwo, nie może sobie pozwolić operator sieci rozdzielczych.

Druga metoda polega na wymianie zabezpieczenia nadprądowego na inne o lepszych parametrach. W praktyce, zgodnie z zaleceniami operatorów sieci rozdzielczych, najczęściej wykonuje się [20]:

- montaż i przyłączenie zabezpieczenia wzdłużnego w obwodzie linii nawiętrznej nn, najczęściej jako rozłącznika izolacyjnego bezpiecznikowego montowanego na słupie;
- wymianę bezpiecznika na inny, o szybszej charakterystyce czasowo-prądowej, w rozdzielni zasilającej obwód linii nawiętrznej nn lub w zabezpieczeniu wzdłużnym.

Oba sposoby drugiej metody mogą być w zasadzie wykonane natychmiast bezpośrednio po ocenie wyników pomiarów przez osoby dozoru operatora sieci rozdzielczych i nie wymagają zarówno dokumentacji projektowej jak i sporych nakładów inwestycyjnych.

Do zabezpieczania obwodów linii nawiętrznych nn, przed przepływem nadmiernego prądu wywołanego przeciążeniem lub zwarcie, stosuje się powszechnie wkładki topikowe o zakresie wyłączenia i kategorii użytkowania gG (zwanej często wkładką topikową o charakterystyce gG), czyli wkładkę topikową o pełnozakresowej zdolności wyłączenia („g”) i ogólnego przeznaczenia („G”) [4]. Wkładki o charakterystyce gG powinny być wykonane i przebadane na zgodność

z następującymi normami: PN EN 60269-1:2010 +A1:2012 +A2:2015-02 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe - Część 1: Wymagania ogólne [4] i PN-EN 60269-2:2014-06 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe - Część 2: Wymagania dodatkowe dotyczące bezpieczników przeznaczonych do wymiany przez osoby wykwalifikowane (bezpieczniki głównie do stosowania w przemyśle) - Przykłady znormalizowanych systemów bezpiecznikowych od A do K [22].

W przypadku braku ochrony przeciwporażeniowej dla obwodu linii nawiętrznej nn zabezpieczonego wkładką topikową o charakterystyce gG operatorzy sieci rozdzielczych zalecają zastąpienie jej wkładką o charakterystyce gF i powtórne dokonanie oceny ochrony przeciwporażeniowej w przedmiotowym obwodzie [20]. Wkładki topikowe o charakterystyce gF to obecnie nieznormalizowane wkładki topikowe o pełnozakresowej zdolności wyłączenia („g”) i o charakterystyce szybkiej („F”) [4, 22].

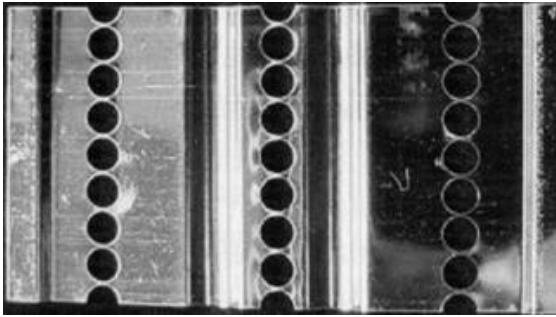
Są jednak takie obwody linii nawiętrznych nn, w szczególności o długości powyżej 1000 m, których w polskich sieciach rozdzielczych jest jeszcze prawie 65 tys. [24], o napięciu na końcu obwodu poniżej  $U_{zn} - 20\%$ , gdzie wymiana wkładki topikowej o charakterystyce gG na wkładkę o charakterystyce gF nie spowoduje, że obwód ten będzie posiadał wymaganą przepisami ochronę przeciwporażeniową.

#### 5. POPRAWA DZIAŁANIA OCHRONY PRZECIWPORAŻENIOWEJ W LINIACH NAWIETRZNYCH POPRZEZ ZASTOSOWANIE WKŁADEK TOPIKOWYCH O CHARAKTERYSTYCE BARDZO SZYBKIEJ

Kiedy diody półprzewodnikowe mocy pojawiły się po raz pierwszy na rynku w latach 50 tych XX wieku, to wraz z nimi pojawiła się potrzeba skutecznej ochrony tak wrażliwych termicznie elementów. Zgodnie ze stanem ówczesnej wiedzy, tylko bezpieczniki topikowe były aparatami odpowiednimi do tego celu. Był jednak pewien problem z dopasowaniem charakterystyki topnienia topika do obciążalności termicznej półprzewodników, które charakteryzuje bardzo ograniczona pojemność cieplna i ściśle określona górna temperatura złącza p-n wynosząca około 125 °C, co dopuszcza tylko niewielki margines pomiędzy temperaturą pracy i temperaturą graniczną. Zatem w konsekwencji ta skuteczna ochrona sprowadzała się do tego, że prąd przetężeniowy musi być wyłączany niezwykle szybko [1].

Aby spełnić te wymagania opracowano bardzo szybkie wkładki topikowe o topikach z przewężeniami o wyjątkowo małym przekroju (rys. 5). Ze względu na bardzo wysoką temperaturę pracy jedynym odpowiednim materiałem topikowym o wystarczającej odporności na utlenianie jest czyste srebro. Opracowanym nowym wkładkom topikowym o charakterystykach bardzo szybkich przypisano charakterystyki aR i gR [6, 7, 8, 9, 10, 25, 26].

Do tej pory te wkładki były stosowane zgodnie z ich pierwotnym przeznaczeniem, czyli były stosowane powszechnie do zabezpieczania półprzewodników (obwodów zasilających urządzenia półprzewodnikowe) i do zastosowań specjalnych.

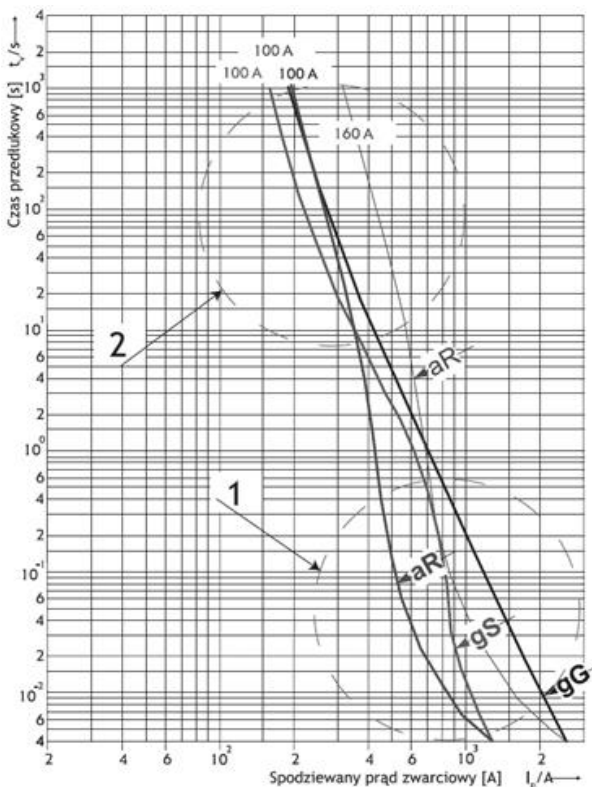


Rys. 5. Widok elementu topikowego wkładki topikowej do ochrony półprzewodników [6, 7]

W literaturze [12, 13, 14, 15] można znaleźć liczne publikacje z ostatnich lat, w których producenci i dostawcy ww. wkładek wskazali ich nowe zastosowanie – jako wkładki topikowe serwisowe, w szczególności do ograniczania ryzyka związanego z zagrożeniem wystąpienia prądu zwarciovego w strefie prac wykonywanych przy urządzeniach rozdzielczych i kablowych nn w PPN.

Producenci aparatów elektrycznych obecnie oferują wkładki topikowe o charakterystykach bardzo szybkich oraz następujących zakresach wyłączania i kategoriach użytkowania [1, 4, 26]:

- aR - wkładka topikowa o niepełnozakresowej zdolności wyłączania („a”) i charakterystyce bardzo szybkiej („R”), zwana wkładką topikową o charakterystyce aR;
- gR - wkładka topikowa o pełnozakresowej zdolności wyłączania („g”) i charakterystyce bardzo szybkiej („R”), zwana wkładką topikową o charakterystyce gR;
- gS – wkładka topikowa o pełnozakresowej zdolności wyłączania („g”) i charakterystyce bardzo szybkiej („S”), zwana wkładką topikową o charakterystyce gS.



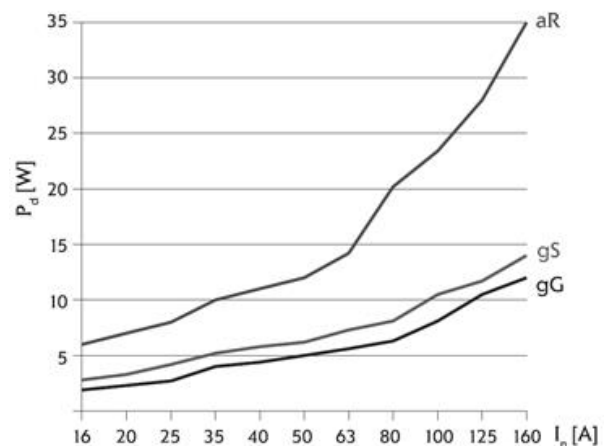
Rys. 6. Porównanie charakterystyk czasowo-prądowych wkładek topikowych o charakterystykach: gG, gS i aR [27]

Wkładka niepełnozakresowa wyłącza poprawnie prąd zawarty pomiędzy najmniejszym prądem wyłączalnym, a znamionowym prądem wyłączalnym, w przeciwieństwie do wkładki pełnozakresowej, która wyłącza wszystkie prądy powodujące przetopienie topika, aż do znamionowego prądu wyłączalnego włącznie.

Wkładka topikowa o charakterystyce gS jest to stosunkowo nowa koncepcja wkładek topikowych o zintegrowanej charakterystyce  $gS = gG + aR$  (rys. 6), która została stworzona, aby wyeliminować jeden ze stopni zabezpieczeń (oszczędność miejsca w urządzeniu rozdzielczym i kosztów).

Ułatwiony został również dobór wkładek topikowych do zabezpieczeń, ponieważ zamiennikiem wkładki o charakterystyce gG jest wkładka o charakterystyce gS o tym samym prądzie znamionowym. Specjalna konstrukcja topiku tej wkładki pozwala na uzyskanie stosunkowo niskich strat w porównaniu do wkładek o charakterystyce aR (rys. 7).

Wkładki o charakterystyce aR, gR i gS powinny być wykonane i przebadane na zgodność z następującymi normami: PN-EN 60269-1:2010+A1:2012+A2:2015-02 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe - Część 1: Wymagania ogólne [4] i PN-HD 60269-4:2010+A1:2012+A2:2017-03 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe - Część 4: Wymagania dodatkowe dotyczące wkładek topikowych do zabezpieczania przyrządów półprzewodnikowych [28].



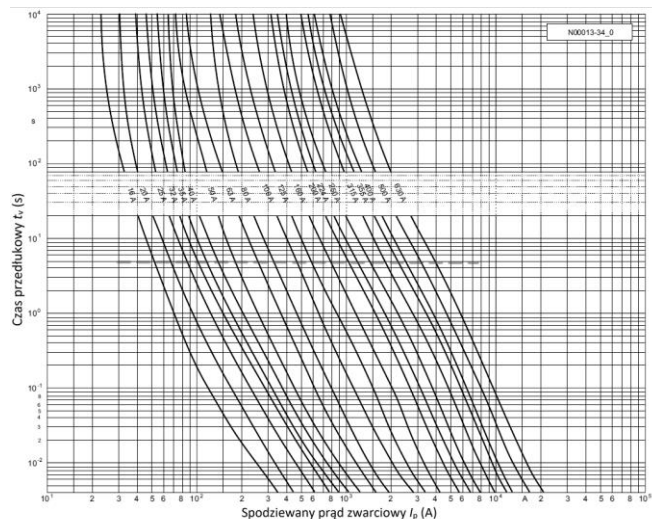
Rys. 7. Porównanie strat mocy wkładek topikowych o charakterystykach: gG, gS i aR [27]

W obwodach rozdzielczych nn, w szczególności długich obwodach linii napowietrznej, w których zastąpienie wkładek topikowych o charakterystyce gG wkładkami o charakterystyce gF, nie pozwoli na potwierdzenie skutecznego działania ochrony przeciwporażeniowej (w dalszym ciągu nie można uzyskać samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie) można podjąć próbę, zastosowania wkładek o charakterystyce bardzo szybkiej i sprawdzenia skutecznego działania ochrony przeciwporażeniowej dla tych wkładek. Z całą stanowczością należy podkreślić, że to rozwiązanie traktować trzeba jako tymczasowe, do czasu zaplanowania i realizacji inwestycji zmierzającej do zmniejszenia impedancji pętli zwarcia L-PEN, co pozwoli na powrót do stosowania wkładek topikowych o charakterystyce ogólnego przeznaczenia gG [1].

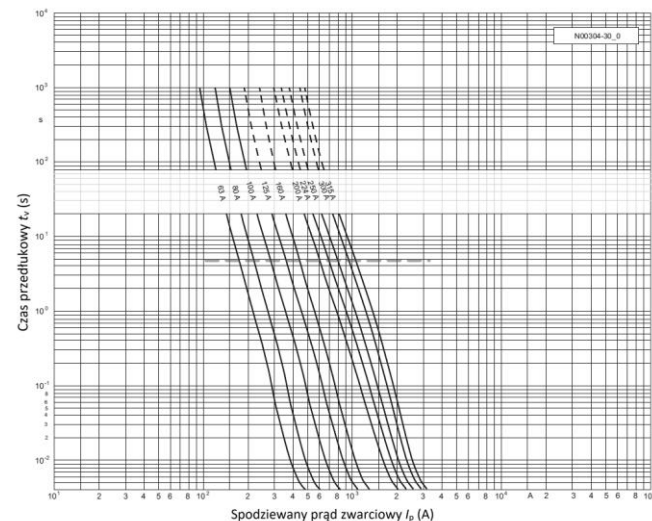
Na rys. 8 -15 przedstawiono charakterystyki czasowo-prądowe  $t-I$  wkładek topikowych o charakterystykach: gG (rys. 8), gF (rys. 11-15), gR (rys. 9) i gS (rys. 10).

W charakterystykach czasowo-prądowych  $t-I$ , dla czasów dłuższych niż 100 ms czas przedłukowy i czas wyłączeniowy są praktycznie jednakowe. Czas łukowy musi być brany pod uwagę tylko w przypadku bardzo krótkich czasów wyłączeniowych o wartości kilku milisekund [6, 7].

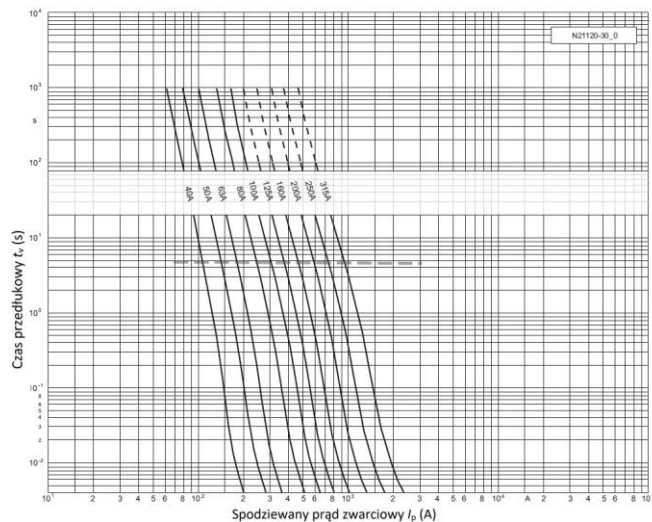
Najczęściej producenci wkładek topikowych nie wyznaczają dla nich charakterystyk pasmowych. Na kartach katalogowych podają uśrednione charakterystyki czasowo-prądowe, dopuszczając odchyłki  $\pm 10\%$ .



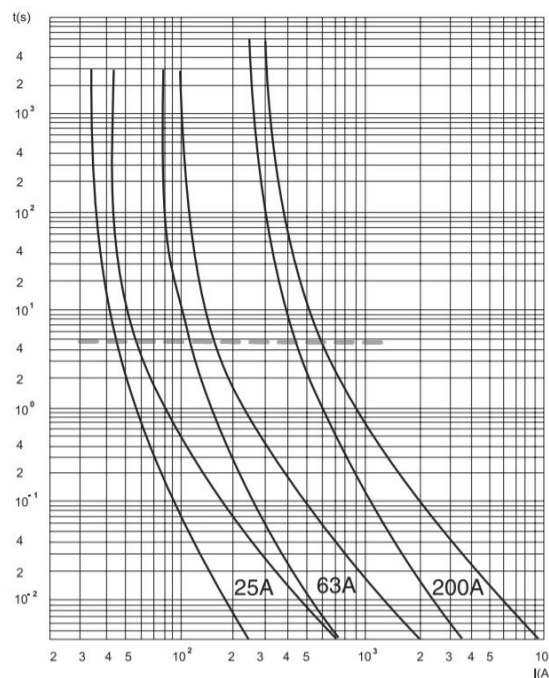
Rys. 8. Charakterystyki czasowo-prądowe przedłukowe  $t_v-I_p$  wkładek topikowych wielkości WT-1 o charakterystyce gG [25]



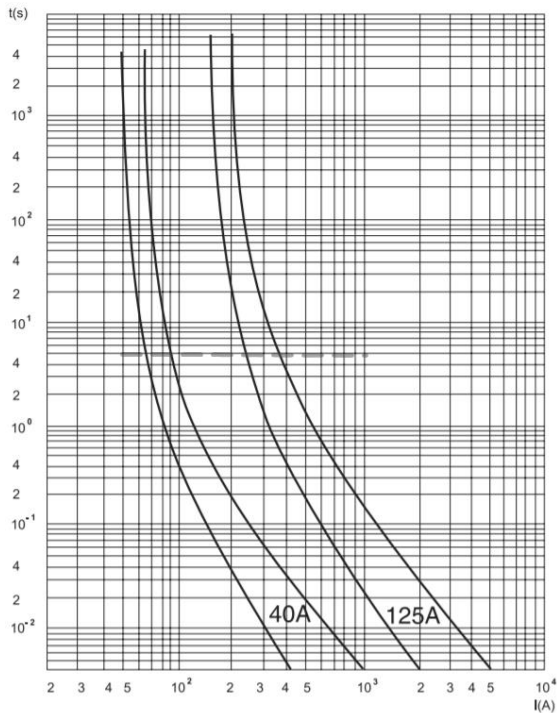
Rys. 9. Charakterystyki czasowo-prądowe przedłukowe  $t_v-I_p$  wkładek topikowych wielkości WT-1 o charakterystyce gR [26]



Rys. 10. Charakterystyki czasowo-prądowe przedłukowe  $t_v-I_p$  wkładek topikowych wielkości WT-1 o charakterystyce gS [26]

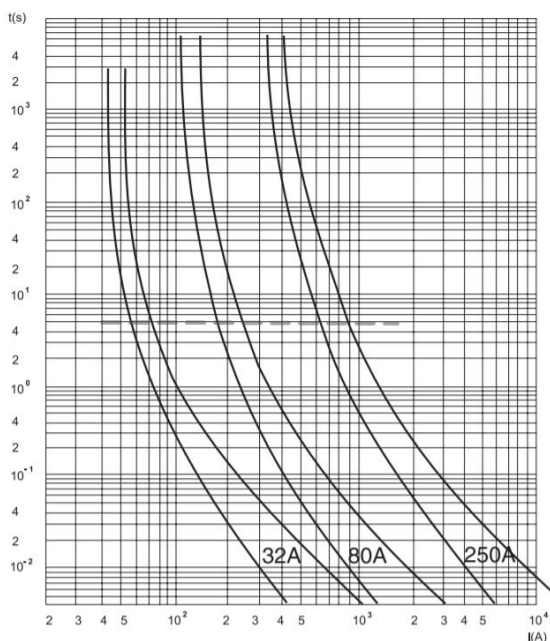


Rys. 11. Charakterystyki pasmowe czasowo-prądowe przedłukowe  $t_v-I_p$  wkładek topikowych wielkości WT-1 o prądzie znamionowym: 25 A, 63 A, i 200 A o charakterystyce gF [29]

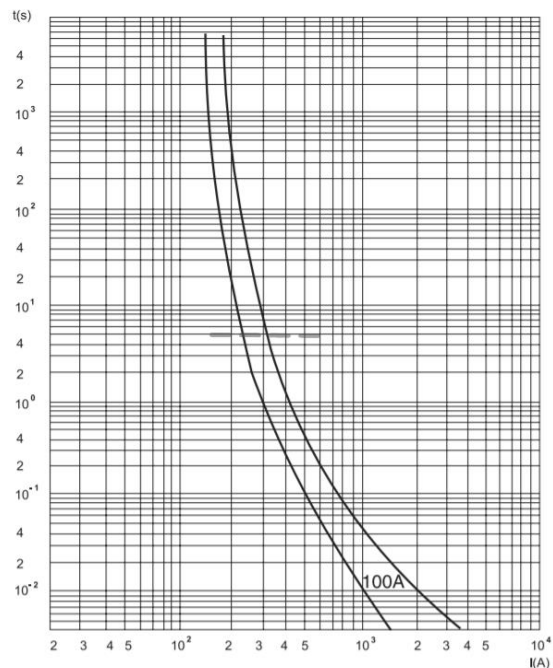


Rys. 12. Charakterystyki pasmowe czasowo-prądowe przedłukowe  $t_v-I_p$  wkładek topikowych wielkości WT-1 o prądzie znamionowym: 40 A i 125 A o charakterystyce gF [29]

Przy wdrożonej kontroli jakości produkcji wkładek topikowych można spełnić ostrzejsze kryteria tolerancji nawet na poziomie  $\pm 7\%$ .



Rys. 13. Charakterystyki pasmowe czasowo-prądowe przedłukowe  $t_v-I_p$  wkładek topikowych wielkości WT-1 o prądzie znamionowym: 32 A, 80 A i 250 A o charakterystyce gF [29]

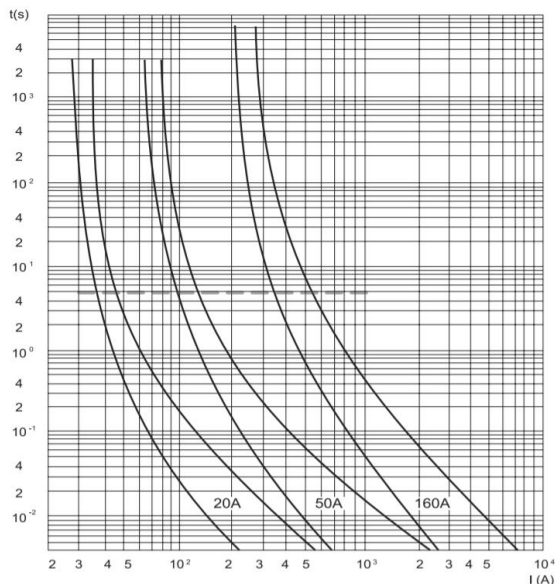


Rys. 14. Charakterystyki pasmowe czasowo-prądowe przedłukowe  $t_v-I_p$  wkładek topikowych wielkości WT-1 o prądzie znamionowym 100 A o charakterystyce gF [29]

Niemniej jednak, aby dokonać jednoznacznej oceny przydatności wkładek o charakterystykach bardzo szybkich do stosowania jako zabezpieczenia obwodów rozdzielczych niskiego napięcia, w szczególności długich obwodów linii napowietrznej, w których zastąpienie wkładek topikowych o charakterystyce gG wkładkami o charakterystyce gF, nie pozwoli na potwierdzenie skutecznego działania ochrony przeciwporażeniowej (napięcia dotykowe przekraczają wartości dopuszczalne i w dalszym ciągu nie można uzyskać samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie), należy wykonać szereg analiz, weryfikacji i badań.

Po pierwsze, należy wybrać wkładki topikowe, które mogą znaleźć zastosowanie do zabezpieczania obwodów linii napowietrznych nn i dla nich wyznaczyć charakterystyki czasowo-prądowe pasmowe  $t-I$  (do wstępnej analizy można wyznaczyć je w oparciu o uśrednione charakterystyki z uwzględnieniem dopuszczalnej tolerancji).

Po drugie, należy sprawdzić ich selektywność działania z wkładkami topikowymi o charakterystykach gG, gF i wyłącznikami taryfowymi stosowanymi jako zabezpieczenia przedlicznikowe w szafkach licznikowych odbiorców. Również należy ocenić czy badania wkładek zgodnie z normami: PN-EN 60269-1:2010+A1:2012+A2:2015-02 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe - Część 1: Wymagania ogólne [4] i PN-HD 60269-4:2010+A1:2012+A2:2017-03 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe - Część 4: Wymagania dodatkowe dotyczące wkładek topikowych do zabezpieczania przyrządów półprzewodnikowych [28] będzie wystarczające. Być może konieczne będzie dodatkowe przebadanie tych wkładek zgodnie z normą PN-EN 60269-2:2014-06 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe - Część 2: Wymagania dodatkowe dotyczące bezpieczników przeznaczonych do wymiany przez osoby wykwalifikowane (bezpieczniki głównie do stosowania w przemyśle) - Przykłady znormalizowanych systemów bezpiecznikowych od A do K [22].



Rys. 15. Charakterystyki pasmowe czasowo-prądowe przedłukowe  $t_v$ - $I_p$  wkładek topikowych wielkości WT-1 o prądzie znamionowym: 20 A, 50 A i 160 A o charakterystyce gF [29]

Celowe wydaje się również przeprowadzenie badań w zakresie działania wkładek bardzo szybkich w obwodach rozdzielczych niskich napięć, w szczególności w tych obwodach linii napowietrznych, w których napięcia dotykowe przekraczają wartości dopuszczalne i nie można potwierdzić skutecznego działania ochrony przeciwporażeniowej. Wreszcie należy sporządzić wykaz wkładek topikowych o charakterystykach bardzo szybkich, w oparciu o straty mocy, dopuszczonych do instalacji w rozłącznikach izolacyjnych bezpiecznikowych [30].

## 6. PODSUMOWANIE

Bezpieczniki to nadal najpowszechniej stosowane w Polsce aparaty do zabezpieczania przed przetężeniami, a przede wszystkim przed skutkami zwarć w obwodach rozdzielczych niskiego napięcia.

W niektórych obwodach, w szczególności napowietrznych, zabezpieczanych wkładkami topikowymi o charakterystyce gG, a niekiedy o charakterystyce gF, pomiary wykonywane przez służby eksploatacyjne wykazują nieskuteczną ochronę przed porażeniem prądem elektrycznym. Dla tych obwodów można podjąć próbę zastosowania wkładek o charakterystyce bardzo szybkiej i sprawdzenia skutecznego działania ochrony przeciwporażeniowej. Z całą stanowczością należy podkreślić, że to rozwiązanie traktować trzeba jako tymczasowe, do czasu zaplanowania i realizacji inwestycji zmierzającej do zmniejszenia impedancji pętli zwarcia L-PEN, co pozwoli na powrót do stosowania wkładek topikowych o charakterystyce ogólnego przeznaczenia gG.

Bez wykonania szeregu analiz, weryfikacji i badań nie da się jednoznacznie wykazać przydatności wkładek o charakterystykach bardzo szybkich do stosowania jako zabezpieczenia obwodów rozdzielczych niskiego napięcia, w szczególności długich obwodów linii napowietrznej, w których zastąpienie wkładek topikowych o charakterystyce gG wkładkami o charakterystyce gF, nie pozwoli na potwierdzenie skutecznego działania ochrony przeciwporażeniowej.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Schwann M., Poprawa ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym za pomocą szybkiego wyłączenia zasilania przy wykorzystaniu wkładek bezpiecznikowych w obwodach linii napowietrznych niskiego napięcia – [Materiały] XXVI Konferencja Szkoleniowo-Techniczna KABEL 2019 Elektroenergetyczne Sieci Kablowe i Napowietrzne, Janów Podlaski, 12-15.03.2019, s. 138-154
- Musiał E., Bezpieczniki w nowoczesnych układach zabezpieczeń urządzeń niskiego napięcia, W: [Materiały] Ogólnopolskie Szkolenie Techniczne „Zabezpieczenia niskonapięciowych instalacji i urządzeń elektrycznych” Poznań, październik 2001. Poznań: ENERGO-EKO-TECH. s. 1-19.
- Lipski T.: Bezpieczniki niskonapięciowe. WNT, 1968, s. 31-60.
- PN-EN 60269-1:2010+A1:2012+A2:2015-02 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe - Część 1: Wymagania ogólne.
- Kłopotki R.: Nowe bezpieczniki topikowe o charakterystyce szybkiej gF firmy ETI Polam. Elektrosystemy, Nr III/2009, s. 68-71.
- Bessei H., Bezpieczniki od A do Z. Wkładki bezpiecznikowe mocy. Podręcznik dla użytkowników wkładek bezpiecznikowych nisko- i średnionapięciowych, NH/HH-Recycling, Germany, czerwiec 2012.
- Bessei H., Power Fuses : Manual for User of Low-voltage and High-voltage Fuses, NH/HH-Recycling, Germany 2011.
- NH-Sicherungseinsätze. NH fuse-links. Katalog Jean Mueller, s. N-62 – N-65.
- Poradnik. Bezpieczniki topikowe ultraszybkie. SIBA 2011.
- Produkty elektroenergetyczne. Katalog wkładek topikowych do zabezpieczania półprzewodników i do specjalnego zastosowań. Edycja 04\_2017. ETI Polam Sp. z o.o.
- The Fuse Manual. Ultra - rapid fuses. SIBA 2011.
- Kłopotki R.: Wkładki topikowe ochronne SWF silnie ograniczające. Elektrosystemy, Nr I/2012, s. 54-55.
- Kłopotki R.: Wkładki topikowe ochronne SWF firmy ETI Polam silnie ograniczające prąd zwarciovowy do prac pod napięciem. Fachowy Elektryk II/2012, s. 26-27.
- Wkładki topikowe serwisowe AC 500 V gR. Katalog Jean Mueller Polska Sp. z o.o.
- Wkładki topikowe serwisowe NH AS 500 V gR. Katalog Jean Mueller Polska Sp. z o.o.
- PN-HD 60364-4-41:2017-09+A11:2017-11 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa - Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
- Norma SEP N SEP-E-001 Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przed porażeniem elektrycznym. Warszawa, 2013 r.
- Musiał E., Obciążalność cieplna oraz zabezpieczenia nadprądowe przewodów i kabli, Miesięcznik SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”. 2008, nr 107, s. 3-41.
- Musiał E., Ochrona od porażań w układach IT, TT i TN. Współdziałanie dwóch różnych układów w jednej instalacji, Miesięcznik SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, marzec-kwiecień 2013 r., nr 162-163, s. 3-68



20. Behrent Z., Grzelka S., Łopat Ż., Orzechowski A., Schwann M., Wysocki K., Zasady wykonywania pomiarów w ENERGA-OPERATOR S.A. Oddział w Gdańsku, Gdańsk, lipiec 2010.
21. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane, t.j. Dz.U.2018.1202 z późniejszymi zmianami.
22. PN-EN 60269-2:2014-06 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe - Część 2: Wymagania dodatkowe dotyczące bezpieczników przeznaczonych do wymiany przez osoby wykwalifikowane (bezpieczniki głównie do stosowania w przemyśle) - Przykłady znormalizowanych systemów bezpiecznikowych od A do K.
23. Musiał E.: Instalacje i urządzenia elektroenergetyczne. WSiP, Warszawa 2008, s.146.
24. Ocena statystyczna stanu elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych. Lata 2015-2017. Etap I, ARE, Warszawa, maj 2018.
25. Niederspannungs – Hochleistungsa – Sicherungen. Katalog 2014 (Low – Voltage Fuses. Catalogue 2014) SIBA 2014.
26. Ultra – Rapid – Sicherungen (Ultra – Rapid – Fuses). SIBA 2014.
27. Kłopotcki R.: Bezpieczniki topikowe o charakterystyce gS firmy ETI Polam. Elektrosystemy, Nr I/2009, s. 42-45.
28. PN-HD 60269-4:2010+A1:2012+A2:2017-03 Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe - Część 4: Wymagania dodatkowe dotyczące wkładek topikowych do zabezpieczania przyrządów półprzewodnikowych
29. WT – NH. Wkładki topikowe nożowe i osprzęt, podstawy bezpiecznikowe, rozłączniki bezpiecznikowe. Katalog ETI Polam. [https://www.etipolam.com.pl/images/product\\_db/levels/pl-PL/5259\\_TD.pdf](https://www.etipolam.com.pl/images/product_db/levels/pl-PL/5259_TD.pdf)
30. Musiał E., Rozłączniki, czyli łączniki robocze, Automatyka – Elektryka – Zakłócenia, vol. 9, nr 2 (32) 2018, czerwiec, s. 8-9.
31. Rozporządzenie Ministra Przemysłu z dnia 8 października 1990r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne w zakresie ochrony przeciwporażeniowej. Dz.U. Nr 81, poz. 473.
32. PN-IEC 60050-195:2001 Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki - Uziemienia i ochrona przeciwporażeniowa (norma wycofana ze zbiorów PKN).
33. PN-IEC 60050-441:2003 Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki – Część 441: Aparatura rozdzielcza, sterownicza i bezpieczniki.
34. PN-IEC 60050-466:2002 Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki – Część 466: Elektroenergetyczne linie napowietrzne.
35. PN-IEC 60050-604:1999 Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki - Wytwarzanie, przesyłanie i rozdzielanie energii elektrycznej – Eksploatacja.
36. PN-EN 61140:2016-07 Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym - Wspólne aspekty instalacji i urządzeń
37. Norma SEP N SEP-E-003 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami pełnoizolowanymi oraz z przewodami niepełnoizolowanymi. Warszawa, 2003 r.
38. PN-E-05100-1:1998 Elektroenergetyczne linie napowietrzne - Projektowanie i budowa - Linie prądu przemiennego z przewodami roboczymi gołymi.

## APPLICATION OF FUSE-LINKS WITH FAST AND ULTRA-RAPID CHARACTERISTICS IN CIRCUIT OF LOW-VOLTAGE OVERHEAD LINES

The article presents protection against electric shock by means of an automatic disconnection of supply using fuse-links in the circuits of low-voltage overhead lines.

Operational measurements show ineffective protection against electric shock in some low-voltage overhead line circuits. Commonly used and proven methods for its improvement require capital expenditures and the time necessary for the implementation.

Sometimes, in these circuits gG fuse-links are replaced with gF fast fuse-links, if the analysis shows that the quick power supply cut off will be done within the time required by the regulations. The article proposes the use of ultra-rapid fuse-links (aR, gR, gS), used, for example, as service fuse-links and to improve safety while performing works under voltage. The proposed solution will be temporary, for the time before the implementation of solutions requiring capital expenditures.

**Keywords:** low-voltage overhead lines, shock protection, automatic disconnection of supply, fast fuse-links, ultra-rapid fuse-links.