



## Szacowanie odstępów powietrznych w rozdzielniach WN i NN w warunkach zwarcia

**Streszczenie.** Przepływ prądu elektrycznego w dowolnie usytuowanych względem siebie torach prądowych powoduje powstawanie sił (tzw. sił elektromagnetycznych) działających na te tory prądowe. W oszynowaniu giętkim rozdzielni WN i NN może dojść, w wyniku przepływu prądu zwarciovego, do znacznego przemieszczenia się przewodów i chwilowego nadmiernego zbliżenia sąsiednich faz. W prezentowanym poniżej artykule opisano i porównano kilka metod obliczania takich minimalnych, chwilowych odstępów międzyfazowych w przęslach rozdzielni WN i NN.

**Abstract.** (Aerial spaces valuation in HV and EHV switching stations in conditions of short-circuit). Flow of electric current causes formation electromagnetic forces in freely situated (in relation to each other) conductors. Flow of short-circuit current in flexible bus-bars in HV and EHV switching stations can cause considerable deflection of conductors and the temporary excessive cut-in of neighboring phases. In article presented below were described and compared several methods of calculating this minimal, temporary distance between phases.

**Słowa kluczowe:** zwarcie, dynamika przewodów, układ izolacyjny, odstęp powietrzny.

**Keywords:** short-circuit current, dynamics of conductors, insulation system, air distance.

### Wstęp

Zdecydowaną większość aparatów i urządzeń pracujących w systemie elektroenergetycznym dobiera się na podstawie różnego rodzaju obliczeń. Większość tych obliczeń to obliczenia przybliżone. Zwiększenie ich dokładności, zakładając, że jest możliwe i celowe, prowadzi najczęściej do skomplikowania metody obliczeń. Obliczenia są m. in. podstawą doboru znamionowej wytrzymałości poszczególnych elementów stacji rozdzielczych. Jest to najczęściej dobór deterministyczny polegający na obliczaniu różnego rodzaju obciążeń, określanych dla najgorszego możliwego przypadku. Metody probabilistyczne, w których uwzględnia się rozkłady statystyczne obciążenia, rozkłady statystyczne wytrzymałości i przyjęte ryzyko uszkodzenia, mimo, że sugerowane czy wręcz dopuszczane do stosowania w coraz większej liczbie przepisów i norm nie są na razie powszechnie stosowane. Jednym z częściej wymiarowanych w systemie elektroenergetycznym elementów są liczne odstęp powietrzne, występujące praktycznie w każdym miejscu linii napowietrznej lub konwencjonalnej stacji elektroenergetycznej. Poprawne zwymiarowanie tych odstępów decyduje w dużym stopniu o niezawodności całej sieci. Jest to niewątpliwie ważne zadanie inżynierskie przy projektowaniu elementów składowych wszelkiego rodzaju sieci elektroenergetycznych.

Jednym z najbardziej charakterystycznych izolacyjnych odstępów powietrznych dla konwencjonalnych rozdzielni elektroenergetycznych jest odstęp pomiędzy elementami torów prądowych różnych faz i obwodów. Ten rodzaj odstępów jest tematem poniższego artykułu. Zasady wymiarowania odstępów powietrznych w sieciach elektroenergetycznych wysokiego napięcia z przewodami gołymi zawarto w normach europejskich [1] i [2]. Zasady te opracowano na podstawie rezultatów wieloletnich statystycznych analiz zakłóceń w sieciach elektroenergetycznych oraz wyników pomiarów napięć przeskołu rozmaitych układów izolacyjnych. Wynika z nich, że izolacja (w tym odstęp powietrzny) w sieciach wysokich napięć wykazuje wystarczającą wytrzymałość przy napięciach: przeniennym i udarowym natomiast w sieciach najwyższych napięć przy udarach piorunowych i dodatnich łączeniowych.

Odstępy izolacyjne w stacjach elektroenergetycznych dobiera się na podstawie ich charakterystyk napięć przeskołu oraz znamionowych napięć wytrzymywanych. A zatem odstęp te (podobnie jak w liniach napowietrznych) powinny mieć wystarczającą wytrzymałość elektryczną przy napięciach roboczych i przepięciach. Długości wymaganych minimalnych odstępów powietrznych można znaleźć w normie [3]. Wybrane wartości znamionowych napięć wytrzymywanych i równoważne im minimalne odstęp międzyfazowe w tzw. instalacjach elektroenergetycznych WN i NN [3] podano w tabeli 2.

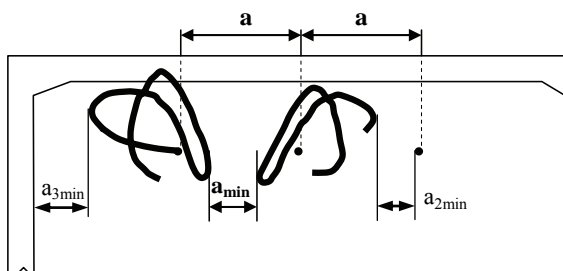
Tabela 1. Wybrane wartości znamionowych napięć wytrzymywanych i równoważne im minimalne odstęp w powietrzu, w instalacjach o napięciu  $1\text{kV} < U_m \leq 300\text{ kV}$  [3]

$\frac{U_n}{U_m}$ w kV	Znamionowe wytrzymałowe napięcie przemienne (wartości skuteczne w kV)	Znamionowe wytrzymałowe napięcie udarowe piorunowe (wartości szczytowe w kV)	Minimalny odstęp izolacyjny doziemny i międzyfazowy w instalacjach (w m)	
			wnętrznych	napowietrznych
110/123	185; 230	450 <sup>1)</sup> ; 550	0,90 <sup>1)</sup> ; 1,10	
220/245	325; 360; 395; 460	750; 850; 950; 1050	1,50; 1,70; 1,90; 2,10	

Uwaga: <sup>1)</sup> W rzadko występujących sytuacjach (wg normy), ale w krajowych instalacjach poziomu izolacji 450 kV i odstęp 0,9 m można stosować bez ograniczeń.

Podane w tabeli 1 odstęp międzyfazowe uznaje się za podstawowe. W [3] zaleca się, aby w wielu przypadkach odstęp te zwiększać. W przypadku na przykład przewodów giętkich wychylających się pod wpływem sił elektromagnetycznych (w wyniku przepływu prądu zwarciovego) zwiększenie powinno wynieść 1,5 odstepu podstawowego. Zdaniem autora jest to zalecenie dyskusyjne. Przepływ prądu elektrycznego, zwłaszcza zwarciovego w dowolnie usytuowanych względem siebie torach prądowych powoduje powstawanie sił elektromagnetycznych działających na te tory. W oszynowaniu giętkim rozdzielni jest to problem dość złożony. W wyniku np. zwarcia dwufazowego, w przewodach tworzących sąsiednie fazy popłynię prąd w przeciwnych kierunkach. Powstałe siły elektromagnetyczne spowodują "odpychanie się"

przewodów (rys.1). W wyniku uzyskanej energii kinetycznej i potencjalnej, a także sprężystej, przewody będą poruszać się dalej, również po wyłączeniu zwarcia, "kreśląc" w środku trajektorie np. taką jak na rysunku 1.



Rys.1. Trajektorie ruchu przewodów w środku przęsła w wyniku przepływu prądu zwarciego

Poruszające się przewody mogą zbliżyć się na odległość  $a_{min}$  w przypadku zwartych faz,  $a_{2min}$  w przypadku fazy zwartej i fazy zdrowej oraz  $a_{3min}$  w przypadku zwartej fazy skrajnej i uziemionej konstrukcji wsporczej. Jeżeli którakolwiek z wymienionych odległości będzie mniejsza niż dopuszczalna dla wytrzymałości elektrycznej powietrznego odstępu izolacyjnego, może dojść do zwarcia wtórnego, groźnego dla pracy sieci.

Podane w tabeli 1 odstępów ustalono przy założeniu występowania przepięć atmosferycznych i przepięć łączeniowych. Prawdopodobieństwo jednoczesności maksymalnego zbliżenia zwarciego  $a_{min}$  i przepięcia atmosferycznego jest pomijalnie małe. Niebezpieczne zbliżenie między fazami  $a_{min}$  występuje nie wcześniej niż po 1 s od chwili zwarcia. A zatem nie występują wtedy także największe przepięcia łączeniowe. Dlatego sprawdzanie wytrzymałości elektrycznej odstępów powietrznych międzyfazowych przy zbliżeniu przewodów powinno być zdaniem autora dokonywane przy maksymalnym napięciu roboczym a nie przy przepięciach i dotyczy odstępów podstawowych, a nie zwiększonych o 50%. Z takiego założenia wynika, że dla znamionowych wytrzymywanych napięć przemiennych: 185 kV, 230 kV i 395 kV (wartości skuteczne), minimalne odstępów izolacyjne międzyfazowe w instalacjach elektroenergetycznych wynoszą odpowiednio 0,9 m, 1,1 m i 1,9 m (tab. 1). Stosując interpolację można przyjąć, że dla napięcia 110 kV odstęp ten będzie wynosił 0,55 m a dla napięcia 750 kV 2,7 m. Należy wspomnieć, że dopuszczalne minimalne odstępów powietrzne przewod-przewód, przy uwzględnieniu uderów piorunowych i łączeniowych, powinny być równe wg [4] 1,15, 2,0, 3,2 i 5,6 m odpowiednio dla napięć znamionowych 110, 220, 400 i 750 kV.

Poniżej obliczono kilkoma metodami minimalne odstępów izolacyjne między wychylającymi się wskutek zwarcia przewodami i porównano je z wymienionymi wyżej. W praktyce projektowej przy projektowaniu międzyfazowych odstępów izolacyjnych, decydujący jest przypadek zwarcia dwufazowego, gdyż występuje wtedy największe zbliżenie przewodów  $a_{min}$ . Sprawdzenie odstępów wymaga obliczenia wychylenia przewodów. Można to zrobić przy pomocy jednej z wielu dostępnych obecnie metod. Poniżej opisano i porównano kilka z nich.

#### Metody obliczania minimalnych odstępów między dwoma zwartymi fazami.

Złożone zjawiska (ruch przewodów w wyniku zwarcia), wspomniane we wstępie, mogą być opisane albo przy pomocy skomplikowanych algorytmów obliczeniowych [5, 6], albo przy pomocy prostych zależności matematycznych [7-11]. Opracowanie większości metod obliczeniowych

w tym także zaliczanych do tzw. grupy prostych stało się możliwe dopiero po pojawieniu się komputerów i po wprowadzeniu zaawansowanych metod komputerowych.

Metody proste oferują tablice oraz wzory analityczne ustalone na podstawie doświadczeń, prostych zależności mechanicznych i geometrycznych lub wyników bardzo dużej ilości symulacji komputerowych. Metoda taka zalecana jest m.in. w normie [7]. W dalszej części artykułu porównano wyniki uzyskiwane tą metodą z wynikami uzyskiwanymi przy pomocy prostego równania opracowanego w IEC Politechniki Śląskiej oraz dwu innych zależności stosowanych czasami w praktyce projektowej do bardzo przybliżonego szacowania. Tak uzyskane wyniki porównano dodatkowo z wynikami uzyskiwanymi przy pomocy wielokrotnie zweryfikowanego (m.in. przez porównanie z wynikami pomiarów), stworzonego na bazie tzw. metody pośredniej programu komputerowego WASP [12]. Idea metod pośrednich opiera się na całkowaniu niewielkiej liczby (przeważnie dwu, trzech) równań różniczkowych ruchu przewodów w środku przęsła. W celu wyprowadzenia tych równań rzeczywiste przęsło zastępuje się modelem skupionym (najczęściej modelem wahadła), któremu przypisuje się cechy rzeczywistego przęsła.

Najprostszą metodą obliczania minimalnego odstępu między poruszającymi się przewodami jest założenie ruchu przewodów po łuku koła o promieniu równym zwisowi przewodu przed zwarcie. Minimalny odstęp między poruszającymi się przewodami określa wtedy równanie:

$$(1) \quad a_{min} = a - 2b_c$$

gdzie:  $a_{min}$  - minimalny odstęp w czasie ruchu przewodów,  $a$  - odstęp statyczny (przed zwarcie),  $b_c$  - statyczny (przed zwarcie) zwis przewodu.

Taki sposób postępowania, nazwany na potrzeby niniejszego artykułu metodą I (koła), nie uwzględnia jednak wydłużenia cieplnego i mechanicznego (elastycznego) przewodu oraz wielu innych czynników, które w warunkach zwarcia są dość istotne. W [9] proponuje się obliczanie  $a_{min}$  wg zależności:

$$(2) \quad a_{min} = a - 1,8x$$

gdzie:  $x = \sqrt{2b_c h - h^2}$

$$h = \frac{\left(2,04(I_k'')^2 \frac{l}{a} 10^{-2}\right) T_k^2}{2(m' l)^2 g} \quad \text{dla } T_k < 0,2 \text{ s}$$

$$h = 0,3 \frac{(I_k'')^{3,6}}{(m' g)^2 l a} \quad \text{dla } T_k \geq 0,2 \text{ s}$$

$I_k''$  - prąd zwarciego początkowy dla zwarcia trójfazowego,  $l$  - długość przewodów podlegających wychyleniu zwarcie,  $a$  - statyczny odstęp między fazami,  $T_k$  - czas trwania zwarcia,  $m'$  - masa jednostkowa przewodu,  $g$  - przyspieszenie ziemskie.

Na potrzeby tego artykułu metodę tę nazwano metodą II (BLN). Metoda III (IEC) obliczania minimalnej odległości między poruszającymi się przewodami zalecana jest w normach [7] i [8]. Zgodnie z zaleceniami zawartymi w tych normach, oszacowanie minimalnej odległości między

poruszającymi się w wyniku zwarcia dwufazowego przewodami różnych faz należy rozpocząć od obliczenia współczynnika rozszerzalności mechanicznej oraz współczynnika rozszerzalności cieplnej przewodu. Rozszerzalność mechaniczna pręśła zależy przede wszystkim od jego sztywności a także od przyrostu siły naciągu przewodu w czasie zwarcia. Po obliczeniu współczynników rozszerzalności mechanicznej i cieplnej należy obliczyć dwa współczynniki oznaczone w normie jako  $C_D$  i  $C_F$ . Współczynnik  $C_D$  uwzględnia zmianę długości przewodu spowodowaną: wydzielaniem się dużych ilości ciepła w czasie zwarcia oraz dużymi naprężeniami przewodu wskutek występowania dużych, chwilowych sił naciągu. Współczynnik  $C_F$  uwzględnia zmianę zwisu przewodu w czasie ruchu.

Współczynniki  $C_D$  i  $C_F$  są podstawą do wyznaczenia zwisu  $b_h$  przewodu w czasie jego wychylania się. Wspomniany zwis wyznacza się inaczej w przypadku pręśel wyposażonych w izolatory liniowe a inaczej w przypadku pręśel bez takich izolatorów. Po wyznaczeniu  $b_h$  można już przy pomocy bardzo prostej zależności wyznaczyć minimalną odległość między poruszającymi się przewodami:

$$(3) \quad a_{min} = a - 2b_h$$

Proponowany w normie [7] algorytm szacowania minimalnej odległości między poruszającymi się przewodami, mimo swojej prostoty, jest dość uciążliwy. Dodając do tego fakt, że norma ta niedostępna jest w języku polskim, w IEiSU Politechniki Śląskiej opracowano alternatywną, prostszą, bo zawierającą zaledwie jedno równanie, metodę szacowania odległości  $a_{min}$ .

Proponowana poniżej metoda IV (IEiSU) powstała na podstawie analizy wyników bardzo dużej ilości różnego rodzaju symulacji komputerowych [6,13]. Głównym celem wspomnianych symulacji było zbadanie wpływu różnych czynników na skutki mechaniczne prądu zwarciovego. Na podstawie tych analiz stwierdzono, że czas trwania zwarcia, rodzaj przewodów i ilość przewodów w wiązce oraz cały szereg innych parametrów, mają znacznie mniejszy wpływ na wspomniany wyżej minimalny odstęp  $a_{min}$  niż natężenie prądu zwarciovego, długość pręśla, statyczna siła naciągu oraz statyczny (przed zwarcie) odstęp między fazami. Dlatego też obliczenia  $a_{min}$  prowadzone są wg metody IEiSU na podstawie znajomości tylko i wyłącznie wartości prądu zwarciovego (dla zwarcia dwufazowego), długości pręśla, statycznej siły naciągu oraz początkowej (statycznej) odległości między przewodami. W obliczeniach uwzględnia się zwarcie dwufazowe, ponieważ tylko przy takim zwarcie może nastąpić niebezpieczne zbliżenie przewodów sąsiednich faz. Należy podkreślić, że zaprezentowane równanie nie ma żadnego uzasadnienia fizykalnego a jest jedynie matematycznym zapisem zależności między różnymi czynnikami mającymi największy wpływ na minimalną odległość między poruszającymi się przewodami oszynowania giętkiego rozdzielni.

$$(4) \quad a_{min} = (0,005l + 1,05)a + (-0,0013I_{k2}'' - 0,03)l + 0,02F_{st} - \alpha$$

gdzie:  $a_{min}$  - minimalna odległość między poruszającymi się przewodami sąsiednich faz (w m),  $a$  - początkowa (przed zwarcie) odległość między sąsiednimi fazami (w m),  $l$  - długość pręśla bez długości izolatorów (w m),  $I_{k2}''$  - zwarciov prąd początkowy dla zwarcia dwufazowego

(w kA),  $F_{st}$  - początkowa siła naciągu przewodów (w kN),  $\alpha$  - współczynnik równy 0 dla  $I_{k2}'' < 25kA$  oraz 0,31 dla  $I_{k2}'' \geq 25kA$

### Wyniki obliczania minimalnych odstępów między dwoma zwartymi fazami

W celu oceny przydatności do praktycznego stosowania, wymienionych wyżej metod obliczania minimalnego odstępu między poruszającymi się przewodami, wykonano obliczenia dla szeregu rozwiązań konstrukcyjnych rozdzielni 110, 220 i 400 kV. Poniżej zaprezentowano w postaci ilościowej (tabela 2 i 3) i jakościowej (rys. 2 i 3) wyniki obliczeń dla rozdzielni 110 i 400 kV, zbudowanych wg projektów Biura Projektów Energoprojekt Kraków. Wyniki te porównano dodatkowo z wynikami obliczeń uzyskanymi przy pomocy programu komputerowego WASP oraz z minimalnymi dopuszczalnymi dla danego napięcia odstępami powietrznymi dla napięć udarowych i łączeniowych  $a_{udp}$  oraz maksymalnych napięć roboczych  $a_{rdp}$

Tabela 2. Wyniki obliczeń  $a_{min}$  (w m) dla rozdzielni 110 kV

$I_{k2}''$ w KA	Minimalne odstępy między fazami obliczone różnymi metodami i odstępy dopuszczalne $a_{udp}$ [4] i $a_{rdp}$ [3] (w m)						
	was p	IEiSU (IV)	IEC (III)	kolo (I)	BLN (II)	$a_{rdp}$	$a_{udp}$
15	1,61	1,45	1,60	1,84	1,69	0,55	1,15
20	1,29	1,27	-----	1,84	1,35		
25	0,90	0,78	1,02	1,84	0,93		
30	0,73	0,60	0,79	1,84	0,44		
35	0,51	0,42	0,57	1,84	-0,12		
40	0,33	0,24	0,37	1,84	-0,75		
45	0,18	0,07	0,18	1,84	-1,45		
50	0,06	-0,10	0,00	1,84	-2,21		

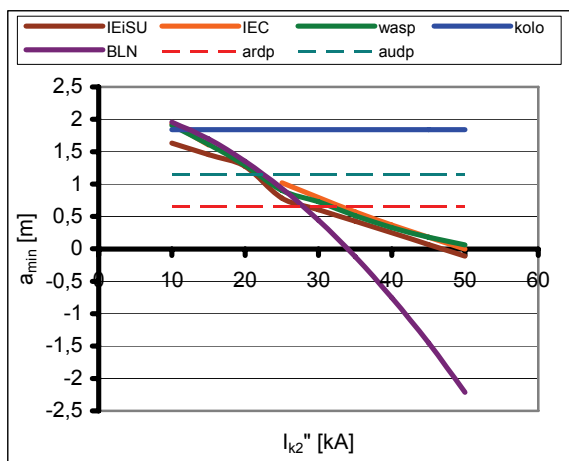
Uwaga: W obliczeniach uwzględniono  $l=27,5$  m,  $a=2,2$  m, przewody pojedyncze AFL 8 525,  $F_{st}=10$  kN,  $T_k=0,2$  s.

Tabela 3. Wyniki obliczeń  $a_{min}$  (w m) dla rozdzielni 400 kV

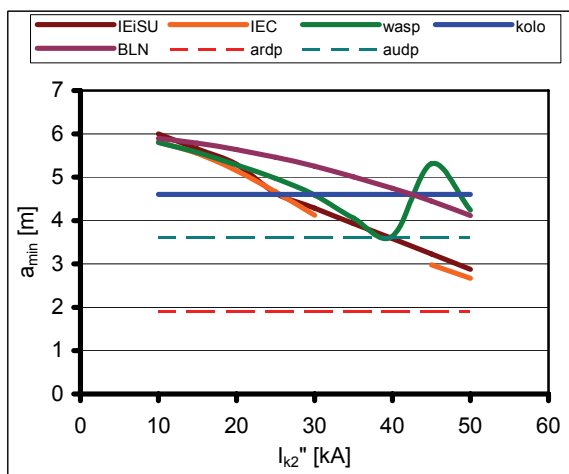
$I_{k2}''$ w KA	Minimalne odstępy między fazami obliczone różnymi metodami i odstępy dopuszczalne $a_{udp}$ [4] i $a_{rdp}$ [3] (w m)						
	was p	IEiSU (IV)	IEC (III)	kolo (I)	BLN (II)	$a_{rdp}$	$a_{udp}$
15	5,57	5,65	5,55	4,6	5,78	1,9	3,2
20	5,28	5,30	5,15	4,6	5,64		
25	4,97	4,64	4,66	4,6	5,46		
30	4,59	4,28	4,12	4,6	5,25		
35	4,06	3,93	-----	4,6	5,01		
40	5,31	3,23	2,98	4,6	4,44		
45	4,24	2,88	2,67	4,6	4,11		
50	5,57	5,65	5,55	4,6	5,78		

Uwaga: W obliczeniach uwzględniono  $l=27,5$  m,  $a=2,2$  m, przewody pojedyncze AFL 8 525,  $F_{st}=10$  kN,  $T_k=0,2$  s.

W zdecydowanej większości innych, niepublikowanych tutaj wariantów obliczeniowych, uzyskano podobne pod względem wiarygodności metod obliczeniowych rezultaty porównywania. Widoczne w tabeli 2 oraz na rysunku 2 ujemne wartości  $a_{min}$  (metoda BLN) wynikają, w tym przypadku, z niedoskonałości metody obliczeniowej. Niemniej podobne rezultaty uzyskuje się, prowadząc obliczenia przy użyciu innych metod dla innych zestawów danych. Sytuacja taka zdarza się w przypadku, gdy suma obliczanych, chwilowych zwisów przewodów jest w momencie ich zbliżenia większa niż początkowy odstęp między fazami. Inaczej mówiąc, gdy przewody w czasie ruchu „zachodzą na siebie”.



Rys.2. Porównanie wyników obliczeń  $a_{min}$  dla rozdzielni 110 kV, uzyskanych przy użyciu różnych metod obliczeniowych



Rys. 3. Porównanie wyników obliczeń  $a_{min}$  dla rozdzielni 400 kV, uzyskanych przy użyciu różnych metod obliczeniowych

### Wnioski

Z analizy rezultatów obliczeń umieszczonych w tabelach 2 i 3, oraz pokazanych na rysunkach 2 i 3 oraz innych, niepublikowanych w niniejszym artykule wynika, że rezultaty uzyskane metodami: I (koło) i II (BLN) wyraźnie różnią się od wyników uzyskanych pozostałymi metodami. Metody te nie powinny być stosowane w codziennej praktyce projektowej. Natomiast duża zbieżność między wynikami uzyskiwanymi przy pomocy metody zalecanej w normach [7] i [8], metody opracowanej w IEiSU Politechniki Śląskiej oraz programu komputerowego WASP, uwiarygadnia te metody. Biorąc jednak pod uwagę niedostępność w normalnej sprzedaży programu WASP oraz uciążliwość stosowania metody zalecanej w normie [7], metoda IEiSU staje się dosyć atrakcyjna.

Porównując wyniki obliczeń minimalnego odstęp między poruszającymi się wskutek zwarcia przewodami fazowymi z minimalnym, dopuszczalnym dla danego napięcia odstępem izolacyjnym określonym dla maksymalnego napięcia roboczego, można stwierdzić, że dla typowych rozdzielni 220 i 400 kV zbudowanych wg

typowych projektów, wychylenia przewodów wskutek przepływu prądu zwarciovego nie są niebezpieczne w szerokim zakresie poziomu prądu zwarciovego (0-50 kA). Uwzględniając odstęp sugerowane dla przebieg piorunowych i łączeniowych niebezpieczne mogą być wychylenia spowodowane przepływem prądów zwarciovych o wartości 40 i więcej kA.

W rozdzielniach 110 kV niebezpieczne mogą być wychylenia przewodów, wskutek przepływu prądu zwarciovego o natężeniu powyżej 30 kA (przy sprawdzaniu minimalnego odstęp dla napięć roboczych) oraz 20 kA przy sprawdzaniu minimalnego odstęp dla przebieg. Przyjęcie zatem odpowiedniego poziomu napięcia (minimalnego dopuszczalnego odstęp międzyfazowego) może mieć istotny wpływ na decyzje projektanta, sprawdzającego wytrzymałość elektryczną odstępów międzyfazowych w rozdzielniach z oszynowaniem giętkim.

### LITERATURA

- [1] PN-EN 60071-1:1999, Koordynacja izolacji – Definicje, zasady i reguły
- [2] PN-EN 60071-2:2000, Koordynacja izolacji – Przewodnik stosowania
- [3] PN-E-05115:2002, Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV
- [4] PN-EN 50341-1:2005, Elektroenergetyczne linie prądu przemiennego powyżej 45 kV, Część 1: Wymagania ogólne – Wspólne specyfikacje
- [5] Lillien J.L., Contraintes et conséquences électromécaniques liées au passage d'une intensité de courant dans les structures en câbles, *Thèse de doctorat., collection des publications nr 87*, (1983), Université de Liège.
- [6] Szadkowski M., Metoda obliczania skutków mechanicznych prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni WN, *Praca doktorska*, (1989), Politechnika Śl., Gliwice
- [7] PN-EN 60865-1 Obliczanie skutków prądów zwarciovych
- [8] IEC 865-1, Short-circuit currents-Calculation of effects, Part 1: Definitions and calculation methods
- [9] Nartowski Z., Stacje elektroenergetyczne 110-750 kV, (1984) WNT, Warszawa. 133-140.
- [10] Bensistan G., Landin I., Nartowski T., The mechanical effects of short-circuit currents in substations with flexible conductors. Part I: Conductor deflection and choice of temporary air clearances, CIGRE, Raport 23-81 (WG 02) 04-IWD, styczeń 1981
- [11] Szadkowski M., Computer aided methods used for design of flexible conductors in HV and EHV switching stations, Computer applications in electrical engineering, (2006), Part II, 335-351.
- [12] Szadkowski M., Przygodzki M., Nowe możliwości analiz w nowym programie WASP, *VI Konf. Nauk.-Techn.: „Zastosowanie Komputerów w Elektrotechnice – ZKwE'2001”*, 2001, Poznań/Kiekrz, 299-302
- [13] Szadkowski M., Bartodziej G., Influence of Span Length on Mechanical Effects Due to Short-Circuit Current In Flexible Bus-bar Systems of High Voltage Switching Station, *Proc. Of 10<sup>th</sup> International Symposium "Short-Circuit Currents in Power Systems"*, 2002, Łódź

**Autor:** dr inż. Marek Szadkowski, Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. Krzywoustego 2, 44-105 Gliwice, e-mail: [marek.szadkowski@polsl.pl](mailto:marek.szadkowski@polsl.pl)