

Marek SZADKOWSKI  
Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów  
Politechnika Śląska, Gliwice

## PROSTA METODA SZACOWANIA SKUTKÓW MECHANICZNYCH PRĄDU ZWARCIOWEGO W OSZYNOWANIU GIĘTKIM ROZDZIELNI WN

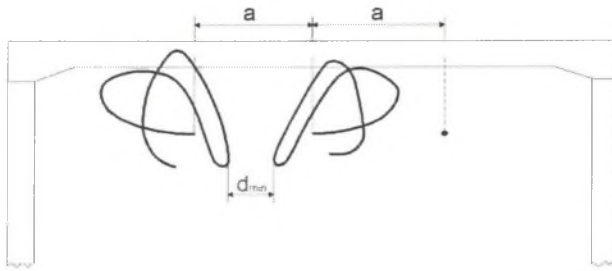
**Streszczenie.** W artykule nawiązano do problemu skutków mechanicznych prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni WN i NN. Autor od wielu lat zajmuje się tą problematyką. W poniższym opracowaniu zaprezentowano wyniki jednej z wielu analiz, które prowadzono w Instytucie Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej. Na podstawie uzyskanych wyników autor proponuje trzy proste wzory: pierwszego, drugiego i trzeciego stopnia, umożliwiające szacowanie wielkości wspomnianych skutków mechanicznych prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim typowych, polskich rozdzielni 110 kV.

## A SIMPLE METHOD APPLIED TO ESTIMATION OF MECHANICAL EFFECTS DUE TO SHORT-CIRCUIT CURRENT WITHIN FLEXIBLE BUSBARS OF HV AND EHV SWITCHING STATIONS

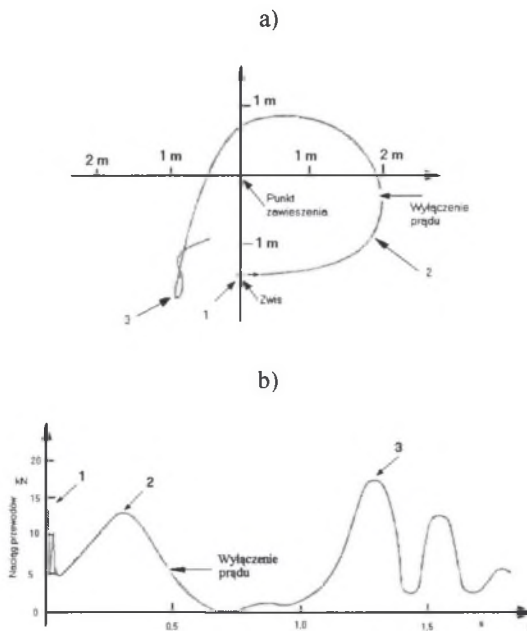
**Summary.** The subject of the article is connected with problems resultant from mechanical effects due to short-circuit current within flexible busbars of HV and EHV stations. Author, engaged in such problems from many years, has presented results of one chosen from numerous analyses made in the Institute of Power Systems and Control of Silesian University of Technology in Gliwice. Basing on obtained results three simple formulas are proposed: the first, second and third kind. They are used to estimate the above effect values for typical 110 kV Polish switching stations.

### 1. WPROWADZENIE

Przepływ prądu elektrycznego w dowolnie usytuowanych względem siebie torach prądowych powoduje powstawanie sił (tzw. sił elektrodynamicznych) działających na przepływające ładunki, a więc na tory prądowe. W przypadku prądu zwarciovego działania te mogą być znaczne. W oszynowaniu sztywnym rozdzielni może dojść do powyginania tych szyn, zniszczenia odstępników, uszkodzenia izolatorów wsporczych. W oszynowaniu giętkim problem jest bardziej złożony. W wyniku np. zwarcia dwufazowego w przewodach tworzących sąsiednie fazy popłynie prąd w przeciwnych kierunkach. Powstałe siły elektrodynamiczne spowodują "odpychanie się" przewodów (rys.1). W wyniku uzyskanej energii kinetycznej i potencjalnej a także sprężystej przewody poruszają się dalej po wyłączeniu zwarcia, "kreśląc" w środku trajektorię np. taką jak na rys. 1 i 2. [1, 2, 3, 5].



Rys.1. Trajektorie ruchu przewodów w środku przęsła w wyniku przepływu prądu zwarciovego  
Fig. 1. Movement trajectories for flexible conductors in mid-span as result of short-circuit current flow



Rys.2. Trajektorja ruchu przewodu fazy skrajnej w przęsle rozdzielni napowietrznej 130 kV pod wpływem prądu zwarciovego 50 kA płynącego przez 0,5 s (a) i siła naciągu przewodu w przęsle jw. (b)  
1 - "sklejenie" przewodów w wiązce, 2 - oddziaływania międzyfazowe, 3 - opadnięcie przewodów  
Fig. 2. Movement trajectories for utmost phase conductor of the span in open-air 130 kV switching station due to passage of the short-circuit 50 kA during 0.5 s (a), and tensile forces of conductors in the above span (b):

1 - „sticking” of conductors in a bundle, 2 – phase interaction, 3 – fall of conductors

Poruszające się przewody mogą zbliżyć się na odległość  $d_{min}$  (rys.1). Jeżeli odległość ta będzie mniejsza niż dopuszczalna dla wytrzymałości elektrycznej odstępów izolacyjnego, może dojść do zwarcia wtórnego ( w chwili zbliżenia przewodów płynie już w nich prąd roboczy w wyniku zadziałania automatyki SPZ). Zbliżenie przewodów na niebezpieczną odległość jest jednym ze skutków mechanicznych prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni WN i NN. W czasie ruchu przewodów pojawiają się w nich siły naciągu (rys. 2) znacznie przewyższające siły statyczne, na jakie zostało zaprojektowane przęsło. Jest to drugi skutek mechaniczny prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni WN i NN. Zmienne w czasie siły naciągu przenoszone są za pośrednictwem przewodów, izolatorów i osprzętu na konstrukcje wsporcze, które zaczynają drgać (wychylać się). Jeżeli amplituda tych drgań

będzie większa od dopuszczalnej, może nastąpić uszkodzenie konstrukcji wsporczej. Jest to następny skutek mechaniczny prądu zwarciovego w rozdzielniach WN i NN.

Wielkość wspomnianych efektów mechanicznych prądu zwarciovego zależy od wielu czynników: wartości prądu początkowego  $I_k^*$ , długości przęsła  $L$ , temperatury otoczenia i związanej z nią początkowej siły naciągu  $F_{st}$ , odległości między fazami  $a$ , czasu trwania zwarcia  $T_k$ , działania automatyki SPZ, typu przewodów tworzących oszynowanie, „sztywności” konstrukcji wsporczych, kąta zwarcia, rodzaju zwarcia itp. Wpływ tych czynników na efekty mechaniczne prądu zwarciovego jest bardzo zróżnicowany [5]. Jak wykazują analizy, największe znaczenie mają długość przęsła i wartość prądu zwarciovego.

## 2. WPLYW DŁUGOŚCI PRZĘŚŁA I WARTOŚCI PRĄDU ZWARCIOWEGO NA SKUTKI MECHANICZNE PRĄDU ZWARCIOWEGO

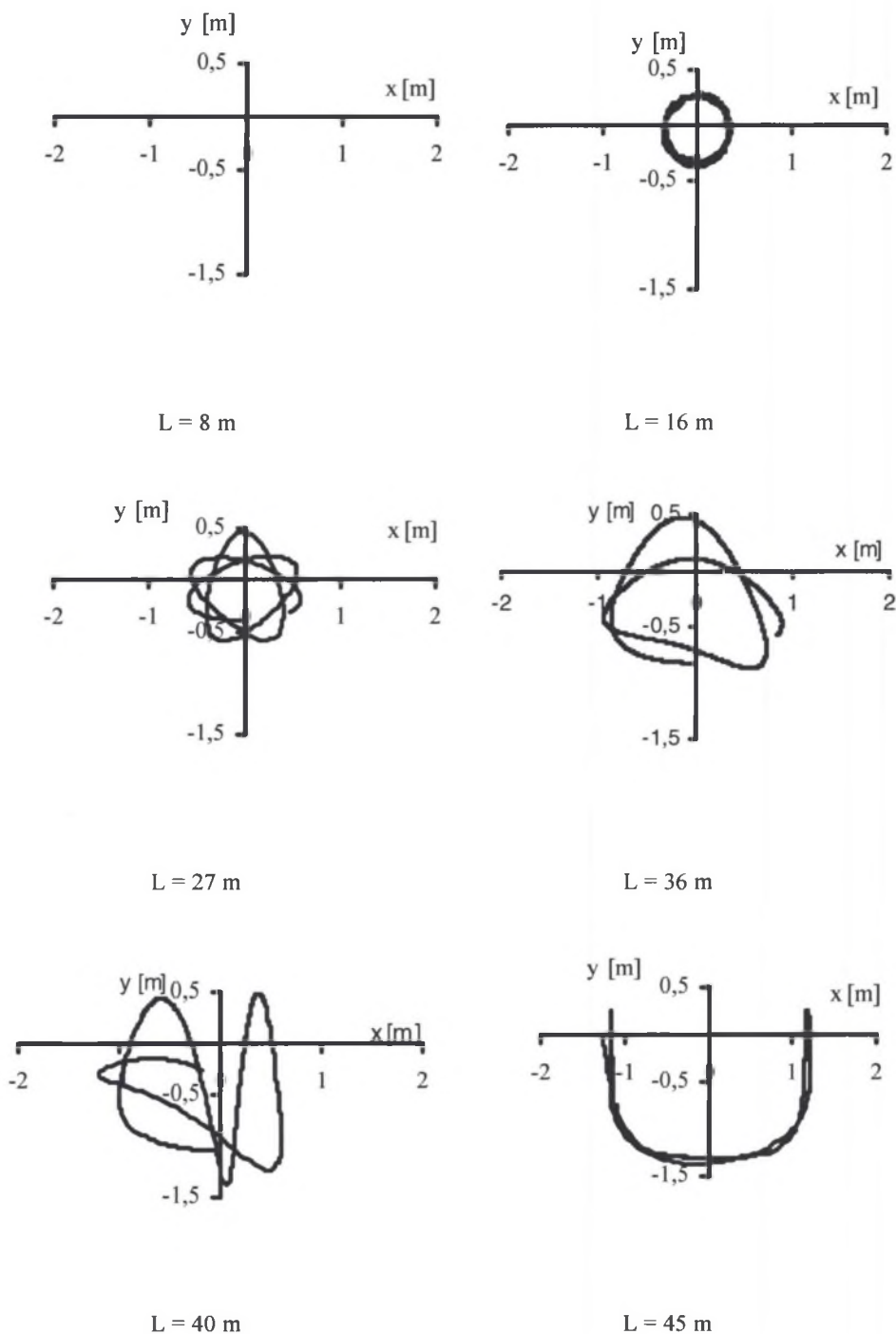
Długość przęsła wynika w przypadku szyn zbiorczych z szerokości pola oraz liczby pól w przęsle. W rozdzielniach napowietrznych 110 kV szerokość pola wynosi, w większości przypadków, 9 m. Przy liczbie pól przypadającej na jedno przęsło 3 do 4 daje to długość przęsła  $27 \div 36$  m. Przęsła o większej długości występują jedynie w wyjątkowych przypadkach. Przęsła krótsze występują natomiast w rozdzielniach uproszczonych ( np. przęsła o długości 8 i 16 m wg [2, 3]). Długości przęseł przyjmowane w obliczeniach wychyleń przewodów są z reguły o ok. 3 - 4 m mniejsze od podanych powyżej. Wynika to stąd, że przewody są zawieszane odciążowo na łańcuchach izolatorów w układzie V. Tak zawieszane izolatory praktycznie nie biorą udziału w ruchu. Długość przęsła przyjmowana do obliczeń jest wobec tego równa odległości  $l$  pomiędzy punktami zamocowania przewodów do izolatorów.

### 2.1. Wyniki analizy

W tabeli 1 oraz na rys. 3 ÷ 8 przedstawiono wyniki obliczeń uzyskane za pomocą programu WASP [5, 6] dla przęseł o różnych długościach, z przewodami pojedynczymi AFL-8 525. Obliczenia wykonano dla zwarć dwufazowych, zakładając trzy poziomy prądu początkowego 18,5, 25 i 40 kA (dla zwarcia trójfazowego). Na podstawie zależności

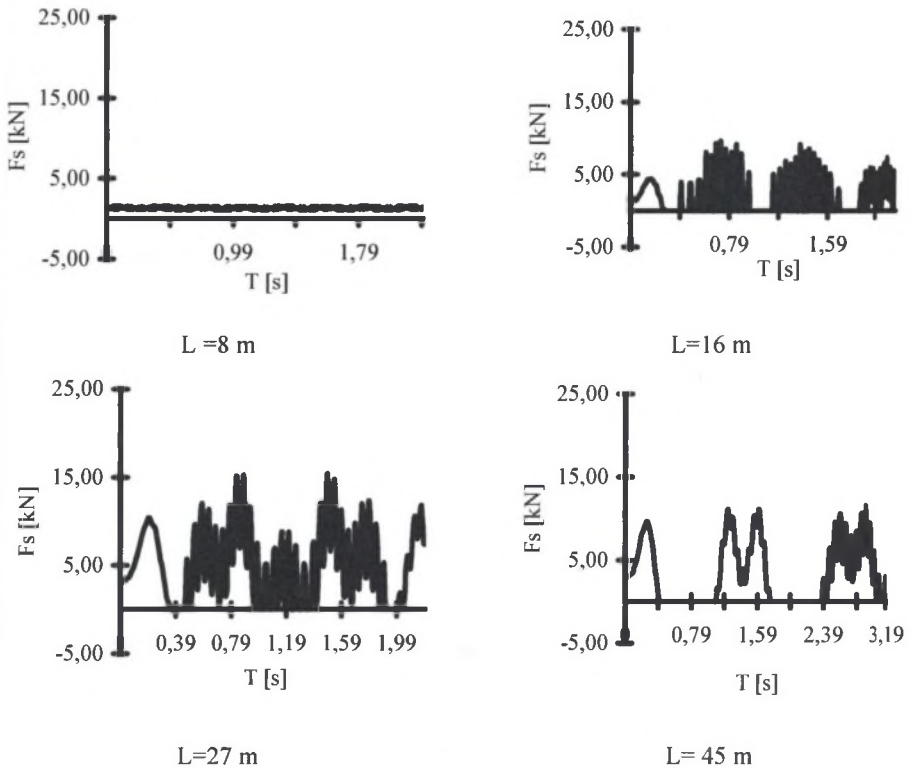
$$I_{k2}^* = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k^* \quad (1)$$

w obliczeniach przyjęto wartości prądu początkowego  $I_{k2}^*$ , wynoszące odpowiednio 16, 21,7 i 34,6 kA.



Rys. 3. Trajektorie ruchu środka przewodu dla różnych długości przęsła w wyniku przepływu prądu zwarciovego  $I_{k2}''=21,7$  kA w czasie  $T_k=0,2$  s

Fig. 3. Movement trajectories of a conductor centre for different spans due to passage of the short-circuit current  $I_{k2}''=21,7$  kA during  $T_k=0,2$  s

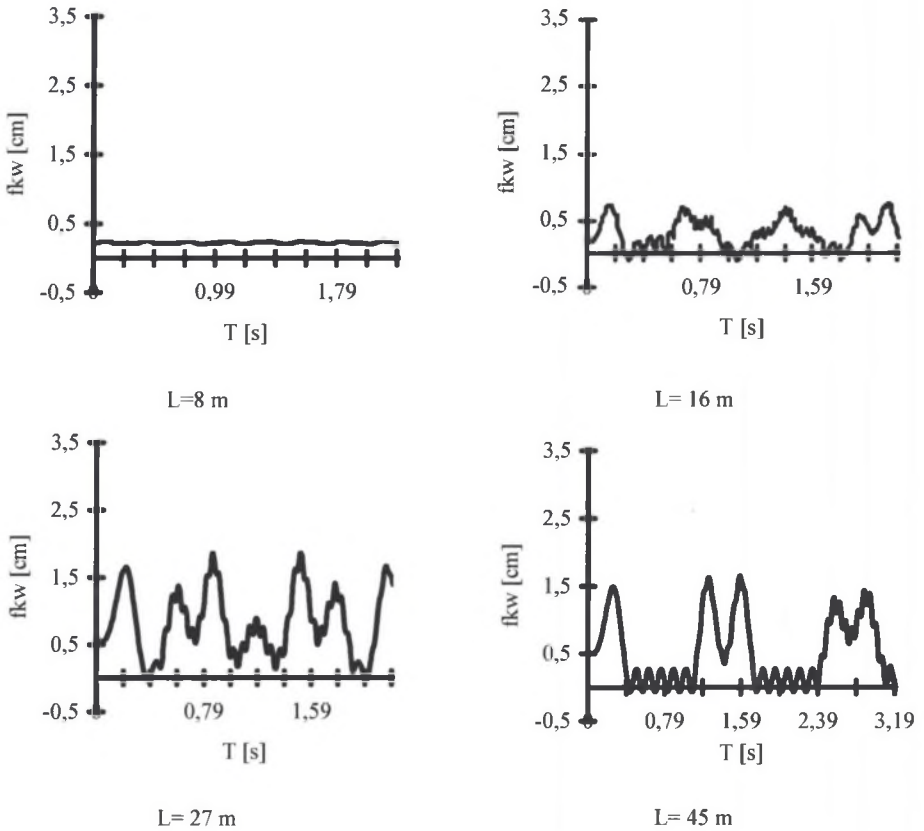


Rys. 4. Przebiegi czasowe sił naciągu przewodów w przęsłach o różnej długości spowodowane przepływem prądu zwarcowego  $I_{k2}^* = 21,7$  kA w czasie  $T_k = 0,2$  s

Fig. 4. Time variations of conductor tension forces in different spans due to passage of the short-circuit current  $I_{k2}^* = 21,7$  kA during  $T_k = 0,2$  s

Na rysunku 3 przedstawiono trajektorie przewodu fazowego w środku przęsła dla przęseł o różnych długościach przy prądzie  $I_{k2}^* = 21,7$  kA. Wynika stąd, że ruch przewodów jest bardzo zróżnicowany, w zależności od długości przęsła. W przęsłach bardzo krótkich (np. 8 m) przewód wykonuje drgania o bardzo dużej częstotliwości i minimalnym wychyleniu. W przęsłach dłuższych (16, 27 i 36 m) przewód obraca się wokół osi wyznaczonej przez punkty jego zamocowania. W przypadku przęseł długich (np. 45 m) przewód porusza się ruchem wahadłowym o małej częstotliwości i dużych promieniach wychylenia. Zróżnicowane (pod względem częstotliwości oraz wartości amplitud) są również przebiegi czasowe sił naciągu i wychylenia konstrukcji wsporczych, pokazane na rys. 4 i 5.

Na rysunku 6. pokazano wpływ długości przęsła na stosunek sił  $F_{smax}/F_{st}$  przy trzech poziomach prądu zwarcowego. Wynika stąd, że - z wyjątkiem przęsła bardzo krótkich (do 8 m) - długość przęsła nie ma znaczącego wpływu na wzrost sił dynamicznych  $F_{smax}$  w stosunku do początkowych sił naciągu  $F_{st}$ . W przypadku prądów 16 i 21,7 kA wzrost ten wynosił średnio 3 do 5, natomiast w przypadku prądu 34,6 kA ok. 9. Siły dynamiczne występujące w całym zakresie analizowanych długości przęseł nie były niebezpieczne dla przewodów, izolatorów i osprzętu. Maksymalne wychylenie (ugięcie) konstrukcji wsporczych związane jest z siłami naciągu przenoszonymi na te konstrukcje w czasie wychyleń przewodów oraz własnościami mechanicznymi konstrukcji wsporczych. Dla typowych polskich konstrukcji wsporczych pod szyny zbiorcze można przyjąć, że ich dopuszczalne wychylenie wynosi 3,8 cm [5].



Rys.5. Przebiegi czasowe wychYLENIA konstrukcji wsporczych w przęsłach o różnej długości wywołane przepływem prądu zwarcioowego  $I_{k2}^* = 21,7$  kA w czasie  $T_k = 0,2$  s  
 Fig. 5. Time variations of support construction displacements in different spans due to passage of the short-circuit current  $I_{k2}^* = 21,7$  kA during  $T_k = 0.2$  s

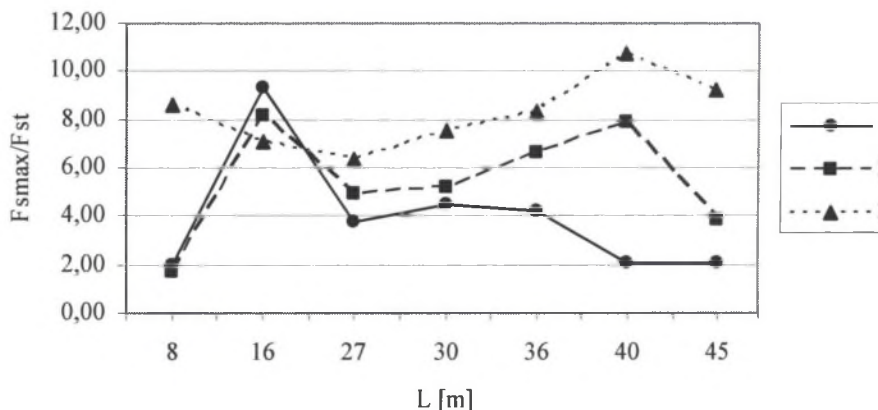
Z tabeli 1 oraz rys. 7 wynika, że przy prądach  $I_{k2}^*$  nie większych niż 21,7 kA wychYLENIA uwzględnianych w analizie typowych konstrukcji wsporczych nie są niebezpieczne dla całego zakresu analizowanych długości przęseł. W przypadku prądu  $I_{k2}^* = 34,6$  kA niebezpieczeństwo nadmiernego obciążenia konstrukcji wsporczych występuje dla przęseł o długości powyżej 27 m.

W przeciwieństwie do maksymalnej siły naciągu  $F_{smax}$  zbliżenie przewodów  $d_{min}$  jest ściśle związane z długością przęsła, a właściwie z początkową siłą naciągu  $F_{st}$  oraz z poziomem prądu początkowego  $I_k^*$  (rys. 8). W przypadku prądu  $I_{k2}^*$  nie większego niż 21,7 kA dla przęseł o długości do 36 m zbliżenia przewodów nie są niebezpieczne. Natomiast w przypadku prądu  $I_{k2}^* = 34,6$  kA niebezpieczeństwo nadmiernych zbliżeń przewodów pojawia się już dla przęseł o długości 30 m.

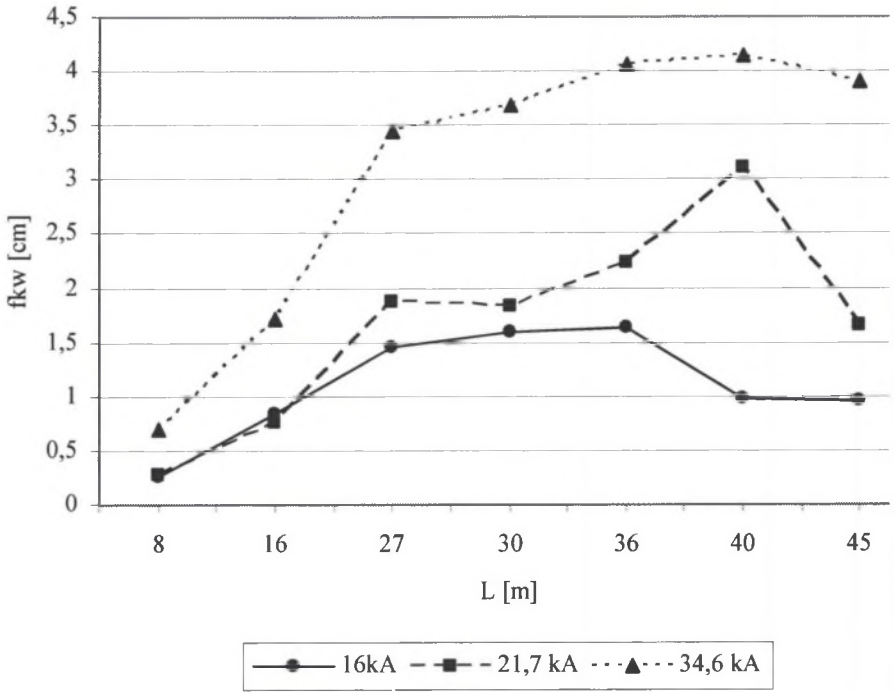
Tabela 1

Wpływ długości przęsła na skutki mechaniczne prądu zwarciovego w oszynowaniu giętym przęsła typowej polskiej rozdzielni 110 kV

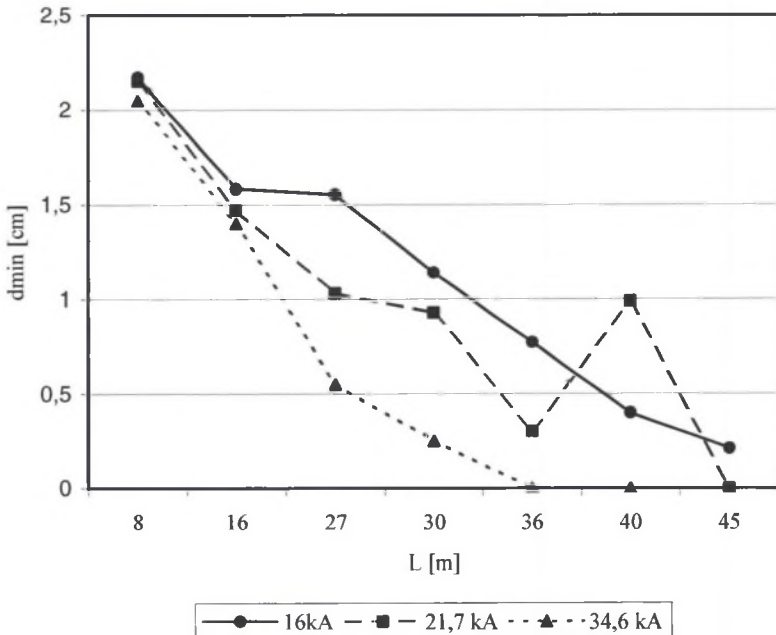
Dane wejściowe do obliczeń								
L	m	8	16	27	30	36	40	45
l	m	4	12	23	26	32	36	40,4
F <sub>st</sub>	kN	1.3	1.1	3.15	3.0	3.0	3.0	3.0
Wyniki obliczeń przy prądzie 18,5 kA (I <sub>k2</sub> <sup>nom</sup> =16 kA)								
F <sub>smax</sub>	N	2167	12140	11978	13313	12582	6254	6061
d <sub>min</sub>	m	2.17	1.58	1.55	1.14	0.77	0.4	0,21
f <sub>kwmax</sub>	cm	0.26	0.83	1.45	1.59	1.63	0.98	0.95
Wyniki obliczeń przy prądzie 25 kA (I <sub>k2</sub> <sup>nom</sup> =21,7 kA)								
F <sub>smax</sub>	N	1860	10564	15472	15631	19815	23707	11642
d <sub>min</sub>	m	2.15	1.47	1.03	0.93	0.3	0.99	0
f <sub>kwmax</sub>	cm	0.28	0.75	1.87	1.83	2.24	3,1	1,65
Wyniki obliczeń przy prądzie 40 kA (I <sub>k2</sub> <sup>nom</sup> =34,6 kA)								
F <sub>smax</sub>	N	9490	9154	20105	22537	25114	32302	27598
d <sub>min</sub>	m	2,05	1.4	0.55	0.25	0	0	0
f <sub>kwmax</sub>	cm	0.7	1.71	3.45	3.68	4,06	4.15	3,91
Pozostałe dane wejściowe: przewody AFL-8 525; a=2,2 m; S=4,4 10 <sup>5</sup> N/m; m <sub>zkw</sub> =185 kg; l <sub>p</sub> =11 m; l <sub>p1</sub> =l <sub>p2</sub> =3,3 m; φ=180°; R/X=0,07; ψ=0°; T <sub>k</sub> =0,2 s, gdzie: a - odległość między fazami, S - współczynnik sprężystości konstrukcji wsporczych, m <sub>zkw</sub> - masa zastępcza konstrukcji wsporczych, l <sub>p</sub> - długość poprzeczki konstrukcji wsporczych, l <sub>p1</sub> i l <sub>p2</sub> - odległości między punktami zaczeplenia skrajnych faz a końcami poprzeczki, φ - kąt przesunięcia między prądami fazowymi, ψ - kąt zwarcia								



Rys. 6. Wpływ długości przęsła na maksymalną siłę naciągu F<sub>smax</sub>  
 Fig. 6. Influence of a span on a maximum tension force F<sub>smax</sub>



Rys. 7. Wpływ długości przęsła na maksymalne wychylenie konstrukcji wsporczych  
 Fig. 7. Influence of a span on a maximum displacement of support constructions



Rys. 8. Wpływ długości przęsła na minimalną odległość między przewodami  
 Fig. 8. Influence of a span on a minimum clearance between conductors



### 3. UPROSZCZONE SZACOWANIE SKUTKÓW MECHANICZNYCH PRĄDU ZWARCIOWEGO

Wyniki analizy zamieszczone na rys. 6 ÷ 8 prowokują do próby opisaną przedstawionych tam charakterystyk zależnościami matematycznymi, umożliwiającymi bardzo proste szacowanie skutków mechanicznych prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni 110 kV. Proponowane poniżej zależności umożliwiają obliczenia minimalnej odległości między poruszającymi się przewodami, maksymalnej siły naciągu, maksymalnej amplitudy drgań konstrukcji wsporczych dla typowych, polskich rozdzielni 110 kV (tab. 1). Stopień „skomplikowania” równania uzależniony jest od rodzaju „skutku mechanicznego”. Najprostsze jest równanie do szacowania minimalnej odległości między przewodami, najbardziej skomplikowane (trzeciego stopnia) - równanie do szacowania maksymalnej siły naciągu, jaka może się pojawić w czasie ruchu przewodów. Obliczenia prowadzone są na podstawie znajomości tylko i wyłącznie wartości prądu zwarciovego (dla zwarcia dwufazowego) oraz długości przęsła. Na podstawie wyników analiz [5] można stwierdzić, że czas trwania zwarcia, rodzaj przewodów i ilość przewodów w wiązce mają niewielki wpływ na wspomniane skutki mechaniczne. Jeżeli są inne niż zamieszczone w tab. 1, to wywołują skutki na ogół mniejsze niż obliczone za pomocą poniższych wzorów. Pozostałe czynniki (temperatura otoczenia i związana z nią początkowa siła naciągu  $F_{st}$ , odległość między fazami  $a$ , „sztywność” konstrukcji wsporczych, kąt zwarcia) są typowe i powtarzalne dla większości przęseł w polskich rozdzielniach 110 kV. W obliczeniach uwzględnia się zwarcie dwufazowe, ponieważ tylko przy takim zwarciu może nastąpić niebezpieczne zbliżenie przewodów sąsiednich faz. Prezentowane zależności nie mają żadnego fizykalnego uzasadnienia. Są to jedynie matematyczne zapisy pewnych prawidłowości zachodzących pomiędzy długością przęsła, wartością prądu zwarciovego a skutkami mechanicznymi tego prądu. W równaniach tych wartość prądu podstawiana jest w kA, długość przęsła w m. Wyniki uzyskuje się: w przypadku minimalnej odległości pomiędzy poruszającymi się przewodami w m, maksymalne wychylenie konstrukcji wsporczych w cm, maksymalną siłę naciągu przewodów w kN.

#### 3.1. Minimalna odległość między przewodami

Do szacowania minimalnej odległości między przewodami w czasie ich ruchu dla typowego oszynowania (AFL-8 525) polskich rozdzielni 110 kV można wykorzystać bardzo prostą zależność:

$$d_{\min} = -(0,001I_{k2}'' + 0,036)L + 2,61 \quad \text{dla } 8 < L < 45. \quad (2)$$

W tabeli 2 porównano wyniki obliczeń  $d_{\min}$  uzyskanych za pomocą programu komputerowego WASP i zależności (2). Jak wynika z porównania, dla typowych sytuacji konstrukcyjnych polskich rozdzielni 110 kV zależność (2) może być z powodzeniem stosowana do szybkiego szacowania  $d_{\min}$ .

#### 3.2. Maksymalna amplituda wychylenia konstrukcji wsporczych w czasie ruchu przewodów

Maksymalne „wychylenie” konstrukcji wsporczych (cm) można szacować dla typowych przęseł polskich rozdzielni 110 kV za pomocą równania drugiego stopnia:

$$f_{kw} = I_{k2}''(-0,000011L^2 + 0,0044L - 0,011) \quad \text{dla } 8\text{m} < L < 45\text{m}. \quad (3)$$

Wyniki obliczeń minimalnej odległości między poruszającymi się, w wyniku zwarcia dwufazowego, przewodami

L [m]	WASP			Zależność (2)		
	$d_{\min}$ w [m] dla $I_k''$			$d_{\min}$ w [m] dla $I_k''$		
	16 kA	21,7 kA	34,6 kA	16 kA	21,7 kA	34,6 kA
8	2,17	2,15	2,05	2,19	2,15	2,05
16	1,58	1,47	1,40	1,78	1,69	1,48
27	1,55	1,03	0,55	1,21	1,05	0,70
30	1,14	0,93	0,25	1,05	0,88	0,49
36	0,77	0,30	0,00	0,74	0,53	0,07
40	0,40	0,99	0,00	0,53	0,23	0,00
45	0,21	0,00	0,00	0,27	0,01	0,00

Tabela 3

Wyniki obliczeń maksymalnej amplitudy drgań poprzeczki konstrukcji wsporzycch

L [m]	WASP			Zależność (3)		
	$f_{kw}$ w [cm] dla $I_k''$			$f_{kw}$ w [cm] dla $I_k''$		
	16 kA	21,7 kA	34,6 kA	16 kA	21,7 kA	34,6 kA
8	0,26	0,28	0,7	0,38	0,51	0,81
16	0,83	0,75	1,71	0,91	1,23	1,96
27	1,45	1,87	3,45	1,60	2,17	3,45
30	1,59	1,83	3,68	1,78	2,41	3,84
36	1,63	2,24	4,06	2,13	2,89	4,61
40	0,98	3,1	4,15	2,36	3,20	5,10
45	0,95	1,65	3,91	2,64	3,57	5,70

Wyniki obliczeń  $f_{kw}$  uzyskanych za pomocą programu komputerowego WASP i obliczeń uzyskanych z zależności (3) umieszczono w tab. 3. Porównując uzyskane rezultaty łatwo zauważyć, że dla typowych konstrukcji pręseł polskich rozdzielni 110 kV zależność (3) może być stosowana do szybkiego szacowania maksymalnej amplitudy drgań konstrukcji wsporzycch  $f_{kw}$ .

### 3.3. Maksymalna siła naciągu w czasie ruchu przewodów

Równanie do szacowania maksymalnej siły naciągu występującej w czasie ruchu przewodów spowodowanego przepływem prądu zwarciovego jest najbardziej skomplikowane spośród prezentowanych w niniejszym artykule. Jest to równanie trzeciego stopnia i w przeciwieństwie do pozostałych prawdziwe dla pręseł o długości nie mniejszej niż 16 m i nie

większej niż 40 m. W równaniu, podobnie jak na rys. 4, należy uwzględnić początkową (stacynną) siłę naciągów, różną dla przęseł o różnej długości. Maksymalną siłę naciągu proponuje się obliczać przy użyciu następującej zależności:

$$F_{s \max} = \beta F_{st}'' [(0,00012 I_{k2}'' - 0,0054) L^3 + (-0,0098 I_{k2}'' + 0,47) L^2 + (0,28 I_{k2}'' - 13,35) L - 2,53 I_{k2}'' + 126,7] \quad (4)$$

dla  $16 \text{ m} < L < 40 \text{ m}$

$\beta = 0,6$  dla przewodów pojedynczych i  $\beta = 0,3$  dla przewodów podwójnych.

W tabeli 4 zestawiono wyniki obliczeń  $F_{s \max}$  uzyskanych za pomocą programu komputerowego WASP i zależności (4). Jak wynika z porównania, dla typowych konstrukcji polskich rozdzielni 110 kV zależność (4) może być stosowana do szybkiego szacowania  $F_{s \max}$ .

Tabela 4

Wyniki obliczeń maksymalnej siły naciągu, jaka może się pojawić, w poruszających się pod wpływem prądu zwarcioowego przewodach

L [m]	WASP			Zależność (4)		
	$F_{s \max}/F_{st}$ w [-] dla $I_k''$			$F_{s \max}/F_{st}$ w [-] dla $I_k$		
	16 kA	21,7 kA	34,6 kA	16 kA	21,7 kA	34,6 kA
16	9,34	8,13	7,04	6,14	5,90	5,38
27	3,80	4,91	6,38	3,93	4,78	6,70
30	4,44	5,21	7,51	4,82	5,82	8,06
36	4,19	6,61	8,37	6,27	7,80	11,27
40	2,08	7,90	10,77	5,89	8,18	13,37

#### 4. PODSUMOWANIE

Opisane w rozdziale 3 przypadki zastosowania równań (3), (4) i (5) dotyczyły typowych przęseł w polskich rozdzielniach 110 kV. W sytuacji braku dostępu do odpowiedniego oprogramowania pozwalają one w nieskomplikowany sposób oszacować ewentualne skutki mechaniczne prądu zwarcioowego w oszynowaniu tych rozdzielni. Ostateczna decyzja wykorzystania proponowanych równań należy do prowadzącego obliczenia. Uzyskane wyniki należy zawsze traktować jako szacunkowe (przybliżone).

Trwają analizy mające na celu sprawdzenie możliwości stosowania równań (3), (4) i (5) dla innych przypadków konstrukcyjnych niż ten o parametrach zawartych w tab. 1. Pierwsze wyniki wskazują, że będzie to możliwe.

#### LITERATURA

1. Lilien J.L.: Contraintes et conséquences électromécaniques liées au passage d'une intensité de courant dans les structures en câbles. Thèse de doctorat., Université de Liège, 1983, collection des publications nr 87.
2. Markiewicz H.: Urządzenia elektroenergetyczne. WNT, Warszawa 2001, s. 146.
3. Nartowski Z.: Stacje elektroenergetyczne 110-750 kV. WNT, Warszawa 1984, s.133-140.

4. Szadkowski M.: Influence of span length on mechanical effects due to short-circuit current in flexible bus-bar systems of HV switching station. 10<sup>th</sup> International Symposium Short-circuit Currents in Power Systems Lodz, October 28 - 29, 2002.
5. Szadkowski M.: Metoda obliczania skutków mechanicznych prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni WN. Praca doktorska, Politechnika Śl., Gliwice 1989.
6. Szadkowski M.: WASP program do szacowania skutków mechanicznych prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni WN. Konferencja naukowo-techniczna ZkwE'98, Poznań/Kiekrz 1998.

Wpłynęło do Redakcji dnia 14 kwietnia 2004 r. Recenzent: Prof. dr hab. inż. Gerhard Bartodziej