

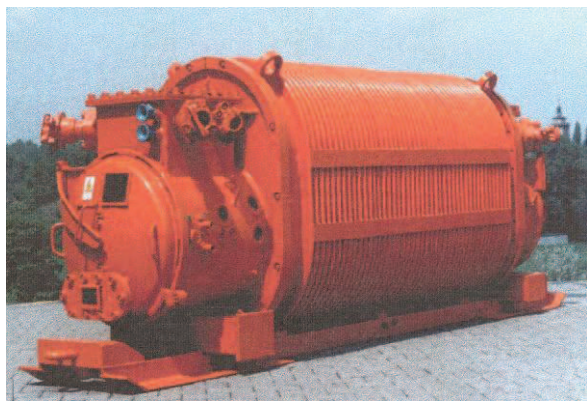
## Ewolucja rozwiązań aparatury górniczej w aspekcie bezpieczeństwa

*W artykule zaprezentowano najczęściej stosowane rozwiązania aparatury łączeniowej stosowanej, przede wszystkim, w górniczych sieciach niskiego napięcia. Przedstawiono argumenty uzasadniające zastosowanie, w miejsce obecnie stosowanych aparatów łączeniowych – aparatury próżniowej na przykładzie zarejestrowanych przykładowych przebiegów prądów i napięć podczas prób zwarciovych.*

### 1. WSTĘP

W artykule omówiono najczęściej stosowaną w układzie elektrycznym aparaturę łączeniową oraz drogę jej rozwoju – ewolucję rozwiązań konstrukcyjnych pod wpływem wymagań użytkowników. Skupiono się przede wszystkim na zastosowaniach do zasilania sieci elektroenergetycznych niskiego napięcia. Należy podkreślić, że w polskim górnictwie podstawowymi jednostkami zasilającymi energią elektryczną odbiory są przewoźne stacje transformatorowe. W zależności od specyfiki i warunków pracy występują one w dwóch następujących odmianach:

- ognioszczelne stacje transformatorowe (Rys. 1),
- stacje transformatorowe w wykonaniu normalnym.



Rys. 1. Przykład rozwiązania górniczej stacji transformatorowej jednego z producentów krajowych

W układzie elektrycznym stacji transformatorowych można wyróżnić dwa najczęściej stosowane rozwiązania, na które składają się:

- główny aparat łączeniowy po stronie Górnego Napięcia (GN),
- główny aparat łączeniowy po stronie Dolnego Napięcia (DN).

Po stronie zaś GN możemy wyróżnić kilka stosowanych rozwiązań aparaturowych, takich jak np.:

- rozłącznik,
- rozłącznik z uziemnikiem szybkim,
- stycznik z SF<sub>6</sub>,
- wyłącznik próżniowy.

Strona natomiast dolnego napięcia (DN) posiada:

- wyłącznik powietrzny,
- styczniki próżniowe z odpowiednim zabezpieczeniem.

Najkorzystniejszym wydaje się stosowanie aparatu łączeniowo-zabezpieczeniowego po stronie dolnego napięcia, głównie ze względu na warunki ruchowe. W artykule przedstawiono proponowane rozwiązania mające na celu zastąpienie stosowanych obecnie rozwiązań niskiego napięcia aparaturą łączeniową – wyłącznikami próżniowymi oraz powody/argumenty uzasadniające celowość wprowadzania tych aparatów.

Przykładowe oscylogramy z prób zwarciovych pokazują w jaki sposób prezentowane rozwiązanie wyłącznika próżniowego z kompensacją elektrodynamiczną wpływa na bezpieczeństwo i niezawodność zasilania odbiorów, w szczególnie trudnych warunkach sieciowych i środowiskowych.

## 2. PROPONOWANE ROZWIĄZANIA APARATURY PRÓŻNIOWEJ NISKIEGO NAPIĘCIA

W elektroenergetyce kopalnianej doziemienia są najczęściej występującymi uszkodzeniami sieci niskiego napięcia. Niezawodne i szybkie odłączenie miejsca uszkodzenia spod napięcia jest konieczne dla bezpieczeństwa eksploatacji podczas zwiększonych zagrożeń rażeniowych, pożarowych i wybuchowych w kopalniach. Istniejące dotychczas rozwiązania, w zakresie aparatury łączeniowej sieci niskiego napięcia, nie zawsze spełniają oczekiwania użytkowników [1]. Dlatego też występuje konieczność opracowywania nowych konstrukcji, przede wszystkim, do wdrażania tych rozwiązań w przemyśle wydobywczym.

Stwierdzone przez użytkowników niedogodności i ograniczenia w aplikacjach dostępnych na rynku wyłączników zabezpieczeniowych powodują, że firmy zmuszone są do stosowania (w miejsce wyłączników) ograniczników prądowych, co z kolei uniemożliwia zdalne sterowanie, wprowadza konieczność wymiany ogranicznika wg wymaganych procedur oraz zwiększa koszty eksploatacji.

W związku z tym uzasadnione jest dążenie do rozwoju i modernizacji aparatury łączeniowej niskiego napięcia, w szczególności aparatury przeznaczonej do stosowania w ekstremalnie trudnych warunkach sieciowych i środowiskowych [2,3,4].

Mając na uwadze powyższe w CENTRUM EMAG opracowano nową konstrukcję wyłącznika próżniowego niskiego napięcia (w celu ograniczenia, a nawet wyeliminowania omówionych wcześniej wszystkich niedogodności) z zastosowaniem dodatkowego elementu kompensacyjnego – minimalizując w odpowiedni sposób efekt oddziaływania elektrodynamicznego prądu obciążenia zestyku. Ma to na celu, przede wszystkim, zapewnienie właściwej kompensacji elektrodynamicznej negatywnych (odpychających) sił zestykowych, tak w stanach ustalonych, jak i przejściowych oraz spowodowanie również wyzwolenia wyłącznika prądem zakłócenia, bezpośrednio w torach głównych i w obwodach sterowania napędu.

W nawiązaniu do powyższych rozważań, mając na uwadze potrzeby górnictwa węgla kamiennego odnośnie do nowoczesnych konstrukcji hermetycznych wyłączników o odpowiednich parametrach łączeniowych oraz analizując zagrożenia, które w znacznej mierze wynikają z punktu/ośrodka jakim jest aparat łączeniowy i próbując znaleźć metody/sposoby ograniczenia tych zagrożeń podjęto prace mające na celu zwiększenie niezawodności i pewności pracy aparatury łączeniowej.

Należy w tym miejscu podkreślić, że we wszystkich powietrznych wyłącznikach niskiego napięcia łuk pali się w otwartej przestrzeni, we wnętrzu, np. stacji transformatorowej lub rozdzielnicy, co stanowi istotne zagrożenie pożarowe i wybuchowe w przypadku pojawienia się gazu wybuchowego, np. metanu lub pyłu węglowego. To sprawia, że jak najbardziej uzasadnionym i słusznym kierunkiem jest zastosowanie w to miejsce wyłączników próżniowych (układ zestykowy jest hermetyczny i pracuje w warunkach niskiego ciśnienia) z zaproponowanym przez autorów rozwiązaniem konstrukcyjnym, które skutecznie eliminuje wymienione niedogodności i umożliwia konstruowanie i stosowanie w szerokim zakresie urządzeń, czy to stacji transformatorowych, czy rozdzielnic zamkniętych modułowych, zwiększając równocześnie poziom bezpieczeństwa zarówno ludzi, jak i zasilanych obiektów.

## 3. PRZYKŁADY ROZWIĄZAŃ

### 3.1. Wyłącznik próżniowy 630 A, 1000 V, 50 Hz

Wyłącznik próżniowy typu WP-630 (Rys. 2) przeznaczony jest do załączania i wyłączania prądów, zwłaszcza zakłóceń-zwarciovych, w obwodach rozdzielnic oraz stacji transformatorowych o mocy do 1,5 MVA i napięciach łączeniowych do 1200 V, 50 Hz, w sieciach elektroenergetycznych podziemi kopalń o dużej koncentracji wydobywania i znacznych zagrożeniach zwarć doziemnych (sieci z izolowanym punktem neutralnym).

Podstawowe jego parametry są następujące:

Napięcie łączeniowe  $U_e=1000$  V, 50 Hz;  
1140 V; 50 Hz

Prąd łączeniowy i cieplny  $I_{the}=630$  A w temp. 313 K

Prąd wyłączalny zwarciovych eksploatacyjny  $I_{cs}/I_{cu}=0,5$ ;  $I_{cs}=12,5$  kA;  
więcej niż 100 wyłączeń

Prąd wyłączalny zwarciovych graniczny  $I_{cu}=25$  kA wg PN-EN 60947-2:2002

### 3.2. Wyłącznik próżniowy 1000 A, 1000 V, 50 Hz

Wyłącznik próżniowy WP-1000 (Rys. 3), niskiego napięcia z podtrzymaniem magnesami trwałymi jest kolejnym nowym rozwiązaniem przeznaczonym do zabezpieczenia sieci górniczych w trudnych warunkach środowiskowych i eksploatacyjnych. Warunki takie mogą występować podczas załączania, wyłączania i przewodzenia prądów zwarcia o wartościach



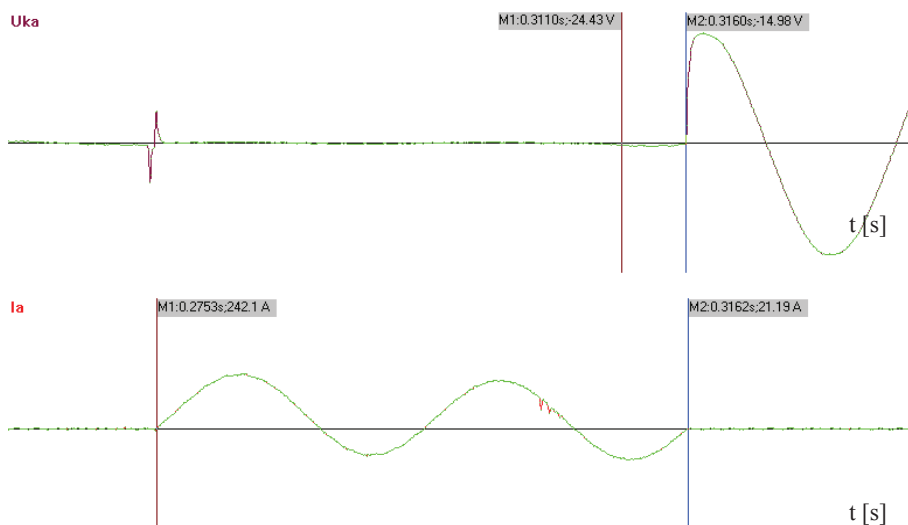
Rys. 2. Wyłącznik WP-630

wyższych niż 12,5 kA (dla napięć łączeniowych 1000 V, 1140 V, 50 Hz). Są one istotne w obwodach stacji transformatorowych zwłaszcza podczas koncentracji wydobywania i koncentracji maszyn i urządzeń w wyrobiskach podziemi kopalń zagrożonych wybuchem pyłu i metanu.

Podstawowe jego parametry znamionowe:

Napięcie łączeniowe $U_e$	1000 V; 1140 V, 50 Hz
Prąd znamionowy ciągły, ciepłny umowny $I_n=I_u=I_{th}$ , temp. ot.	1000 A; 343 K
Prąd wyłączalny zwarcio- eksploatacyjny $I_{cs}=0,75 I_{cu}$ O-t-CO-t-CO ...	18,75 kA
Prąd wyłączalny zwarcio- wy graniczny $I_{cu}$ O-t-CO	25 kA

Skuteczność działania tzw. wyzwalacza prądowego:



Rys. 4. Próba zwarcio-owa „O”(wylączenie)

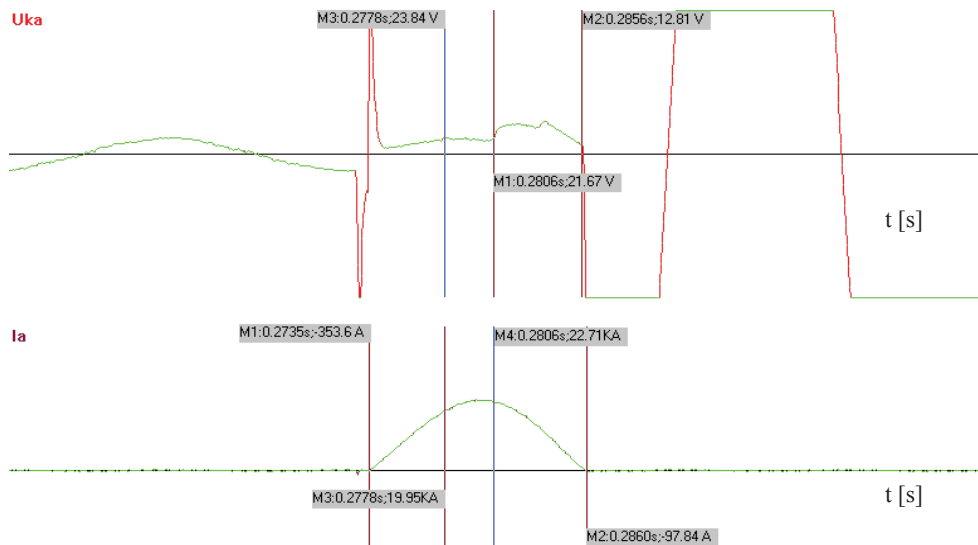
$I_C = 5 \text{ kA}$ ,  $U_C = 1000 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $\cos\phi = 0,3$ ,  $U_e = 1140 \text{ V}$ ,  $I_n = I_{th} = 630 \text{ A}$ ,  $I_{cs}/I_{cu} = 0,5$ ,  $I_{cs} = 12,5 \text{ kA}$



Rys. 3. Wyłącznik WP-1000 – widok ogólny

**4. EFEKT ZASTOSOWANIA**

Efekt pozytywny zastosowania przedstawionych rozwiązań został potwierdzony w praktyce. Potwierdzają to przykładowe przebiegi prądów i napięć zarejestrowane podczas prób zwarcio-owych. Sposób rozwiązania wyłącznika WP-630 daje korzyści użytkownikowi wynikające zarówno z jego zastosowania, tj. poprawa bezpieczeństwa eksploatacji – niezawodności zasilania, jak i ze skuteczności działania tzw. wyzwalacza prądowego, co wykazano podczas prób przeprowadzonych w układzie jednofazowym. Dla wyłącznika WP-1000 sprawdzono również jego pracę podczas próby wylączenia prądu probierczego o wartości 25 kA w układzie trójfazowym.



Rys. 5. Próba zwarciova „O” (wyłączenie)

$I_C = 12,5 \text{ kA}$ ,  $U_C = 1000 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $\cos \varphi = 0,3$ ,  $U_e = 1140 \text{ V}$ ,  $I_n = I_{th} = 630 \text{ A}$ ,  $I_{cs}/I_{cu} = 0,5$ ,  $I_{cs} = 12,5 \text{ kA}$

Oznaczenia na przebiegach:

$I_a$  – przebiegi chwilowe prądu fazowego,

$U_{ka}$  – przebiegi chwilowe napięcia fazowego pomierzone na zestyku toru głównego wyłącznika.

Na zamieszczonych na rysunkach 4 i 5, wybranych oscylogramach, przedstawiono zarejestrowane chwilowe przebiegi prądu fazowego dla 5 kA i 12,5 kA podczas próby wyłączenia. Oznaczono markerami strefę działania wyzwalacza prądowego – wartości chwilowe oraz czas przepływu prądu. Określono również wartości chwilowe napięcia na zestyku toru, oznaczając markerami wartości chwilowe.

Zamieszczone oscylogramy w pełni potwierdzają skuteczne działanie kompensatora podczas przepływu prądu obciążenia o wartości 12,5 kA. Dla wartości zaś 5 kA otwarcie wyłącznika następuje wskutek działania zabezpieczenia i w efekcie wyłączenia prądu w obwodzie sterowania po czasie równym kilku okresom przepływu prądu zwarcioowego.

#### Poprawa bezpieczeństwa eksploatacji:

W celu wykazania zwiększonego bezpieczeństwa eksploatacji sieci, przeprowadzono próby zwarcioowe dla komór próżniowych wyłącznikowych ze sztucznie wprowadzonymi wadami w ich konstrukcji. Badania wykonano w układzie modelu jednobiegunowym łącznika elektrycznego z kompensacją elektrodynamiczną.

Przedmiotowe komory próżniowe posiadały następujące oznaczenia:

- komora nr 1 – komora próżniowa sprawna, bez wad lutowania,

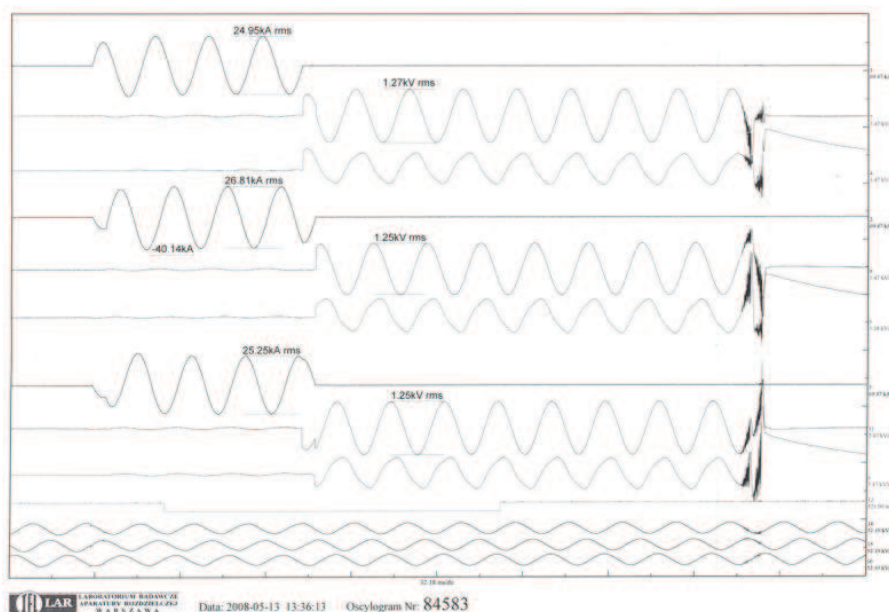
- komora nr 2 – komora, do której sztucznie wprowadzono wadę polegającą na zlutowaniu nakładki z podstawą styku na powierzchni równej 93% powierzchni pierwotnej (w stosunku do komory nr 1),
- komora nr 3 – komora, do której sztucznie wprowadzono wadę polegającą na zlutowaniu nakładki z podstawą styku na powierzchni równej 77% powierzchni pierwotnej (w stosunku do komory nr 1).

Na podstawie przeprowadzonych badań komór próżniowych w układzie modelu jednobiegunowego łącznika elektrycznego z kompensacją elektrodynamiczną w obwodzie o parametrach  $U_e=1000 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$ ,  $I=2 \text{ kA}$  i  $I=10 \text{ kA}$ ,  $\cos \varphi=0,35$  stwierdzono, że pomimo wprowadzonych wad w komorze nr 2 i nr 3 ich praca w układzie łącznika z kompensacją zapewnia prawidłowe wyłączenie prądu zwarcioowego o wartościach 2 kA i 10 kA nie pogarszając warunków jego pracy. W przypadku prądu o wartości 2 kA wyłączenie nastąpiło poprzez układ sterowania, natomiast dla wartości 10 kA – wskutek działania dodatkowego elementu łącznika zwanego kompensatorem.

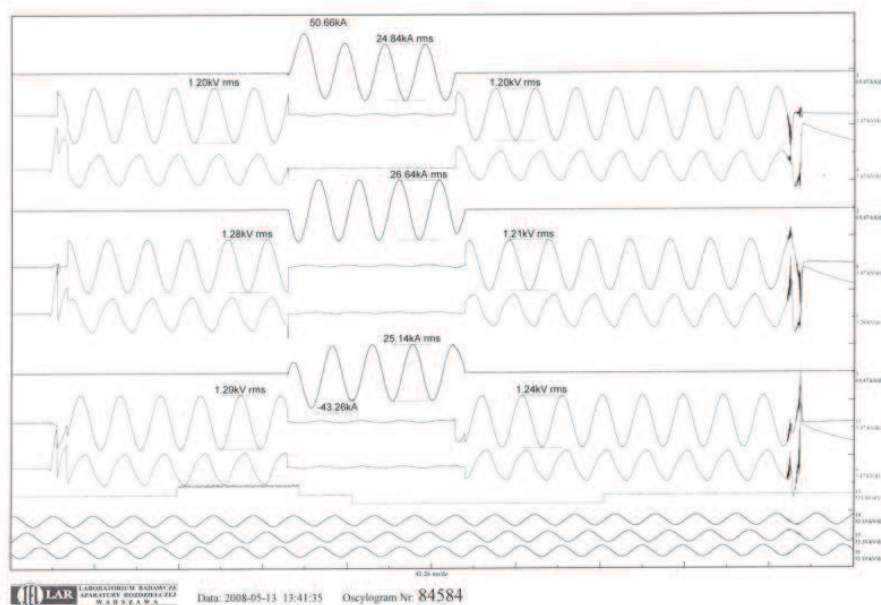
Kompensacja elektrodynamiczna pomimo wad konstrukcyjnych zestyków (komora nr 2 i 3) powoduje zwiększenie wartości siły docisku zestyku (obniżenie rezystancji  $R_z$ ), zapewniając tym samym zwiększenie niezawodności jego pracy (brak szczytów).

Widoczny jest również wpływ kompensacji na szybkość otwierania się zestyku, tzn. dla prądu o wartości  $I=10 \text{ kA}$  następuje bowiem zwiększenie wartości prędkości jego otwierania się (rys. 6 i 7).



Zdolność zwarciova – Prąd wyłączalny zwarciovy graniczny  $I_{cu}$  dla WP-1000

Rys. 6. Włacznik WP-1000. Napięcie probiercze: 1,23 kV; 1,22 kV; 1,23 kV. Prąd szczytowy 40,14 kA; Prąd probierczy wylączeniowy 24,95 kA; 26,81 kA; 25,25 kA. Cykl :”O”. Wylączenie poprawne



Rys. 7. Włacznik WP-1000. Napięcie probiercze: 1,20 kV; 1,28 kV; 1,29 kV. Prąd szczytowy 50,66 kA; Prąd probierczy załączeniowy: 50,66 kA Prąd probierczy wylączeniowy 24,84 kA; 26,64 kA; 25,14 kA. Cykl :”C-O” Wylączenie poprawne

## 5. PODSUMOWANIE

Omówiona w dużym skrócie ewolucja rozwiązań aparatury łączeniowej wychodzi naprzeciw oczekiwaniom użytkowników. Wymusza to na konstruktorach ciągłą potrzebę zmian i doskonalenia rozwiązań tego typu aparatury. Przedstawione

w artykule rozwiązania Centrum EMAG zostały bardzo dobrze ocenione przez specjalistów, uzyskały one bowiem wyróżnienia (m.in. WP-630 na ENERGETAB, czy WP-1000 Inżynieria i Utrzymanie Ruchu), co potwierdza m.in. innowacyjność rozwiązań, a także ich użyteczność i zasadność stosowania w oczach użytkowników.

Wyżej wymienione aparaty zostały zamieszczone między innymi w dokumentacjach produkcyjnych krajowego producenta stacji transformatorowych (P.P.H.U. Martech-Plus). Proces wdrożenia tych rozwiązań do eksploatacji na szerszą skalę utrudniony jest jednak obecnie przez światowy kryzys gospodarczy.

Można stwierdzić, że stosowanie wyłącznika próżniowego WP-630 stanowi nowe podejście w zakresie ochrony zwarciowej górniczych sieci niskiego napięcia zwiększające bezpieczeństwo eksploatacji, natomiast rozwiązanie wyłącznika WP-100 to ciekawa propozycja techniczna i wypełnienie typoszeregu niskonapięciowej aparatury górniczej.

#### Literatura

1. *Kozłowski A., Jarosz J., Mistarz M.*: Niezawodność aparatury łączeniowej niskiego napięcia stacji transformatorowych w aspekcie bezpieczeństwa: obsługi oraz obiektów energetycznych. *MiAG* 2008, nr 03.
2. *Kozłowski A.*: WP – 1000 circuit-breaker as an element complementing the series of switchgear devices for low-voltage it-type networks?; *MiAG* 2—9, nr 04.
3. *Kozłowski A., Kowalski Z., Miedziński B., Sibulski H., Dzierżyński A.*: Trójfazowy wyłącznik próżniowy nowej konstrukcji do zastosowań w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia. *ŁĄCZNIKI* 2008., Pieczyśka 27-29.05.2008 str.35-39
4. *Kozłowski A., Kowalski Z., Miedziński B.*: Contact force stabilizer for use in vacuum power switches. *MEPS'06.*, Wrocław 06-08.09.2006 str. 389-391.

Recenzent: dr inż. Marcin Habrych

#### EVOLUTION IN SOLUTIONS OF THE MINING APPARATUS REGARDING A SAFETY

Switchgears mostly used in particular in the mining low voltage networks have been presented in the paper. Arguments in support of implementation of vacuum switchgears instead of currently used switching devices have been shown. The arguments have been proven by examples of current and voltage waves recorded during short-circuit tests.

#### ЭВОЛЮЦИЯ ВНЕДРЕНИЯ ИДЕЙ КАСАТЕЛЬНО ГОРНОЙ АППАРАТУРЫ В АСПЕКТЕ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье показана наиболее часто применяемая коммутационная аппаратура, применяемая, главным образом, в шахтных цепях низкой напряженности. Представлены аргументы, обосновывающие применение, вместо на сегодняшний день применяемых, коммутационных аппаратур – вакуумной аппаратуры, на примере зарегистрированных примерных протеканий тока и напряженности во время проб короткого замыкания.