

# BADANIA KONTROLNE MASZYN GÓRNICZYCH Z PUNKTU WIDZENIA BEZPIECZNEJ ICH EKSPLOATACJI

## MINING MACHINES CONTROL TESTS FROM THE PROSPECTIVE OF THEIR SAFE EXPLOITATION

Bogdan Miedziński, Zenon Okraszewski, Witold Dzierżanowski, Daniel Pyda, Marcin Habrych - Instytut Energoelektryki, Politechnika Wroclawska

*W artykule omówiono zakres i sposób przeprowadzania wybranych, podstawowych badań eksploatacyjnych, dotyczących oceny bezpieczeństwa pracy obsługi maszyn górniczych. Zaprezentowano wyniki testów skuteczności ochrony przeciwporażeniowej oraz efektywności działania mechanicznych i elektrycznych układów zabezpieczających.*

*The range and methodology of performance of selected, basic exploitation research, connected with assessment of mining machines staff safe operation, have been discussed in the paper. Tests results of effectiveness of firefighting safety and effectiveness of mechanical and electric protection systems operation have been presented.*

### Wstęp

W kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego występuje duże nasycenie sprzętem i urządzeniami elektrycznymi, które okresowo podlegają wymianie częściowej i/lub całkowitej modernizacji. Z faktem tym wiąże się konieczność dokonywania oceny zagrożeń związanych z porażeniem prądem elektrycznym. Zagrożenia te można przewidywać na podstawie zarówno oceny jakości wykonanych prac modernizacyjnych jak również prawdopodobieństwa występowania awarii sieci zasilających i rozdzielczych, urządzeń elektrycznych, a także systemów sterowania i sygnalizacji powiązanych z efektywnością działania układów elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej. Dane statystyczne dotyczące liczby awarii urządzeń elektrycznych, w skali roku, odnoszą się przede wszystkim do tych urządzeń, które mają bezpośredni wpływ na zaburzenia bądź przerwy w procesach technologicznych. Zakłada się bowiem, że działanie aparatury zabezpieczeniowej powinno być na tyle niezawodne aby potencjalne zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym podczas uszkodzeń urządzeń elektrycznych było ograniczone do minimum. Pomimo jednak wprowadzania wielu udoskonaleń, zarówno w sensie technologicznym jak i materiałowym w eksploatowanych maszynach wydobywczych występują przypadki porażenia prądem elektrycznym spowodowane błędami ludzkimi jak również niedziałaniem lub błędnym działaniem zainstalowanej automatyki zabezpieczeniowej. Ograniczenie zatem skutków porażenia prądem elektrycznym wymaga systematycznej kontroli działania urządzeń zabezpieczających w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. Dotyczy to zwłaszcza awarii, których przyczyną są: zwarcia doziemne w sieciach średniego i niskiego napięcia (niezależnie do sposobu pracy punktu neutralnego transformatora), obniżenie się wartości izolacji w sieciach prądu zmiennego z izolowanym punktem neutralnym i doziemienia w obwodach prądu stałego. Ważnym problemem jest również uniknięcie lub ograniczenie skutków awarii mechanicznych związanych z kolizją przemieszczających się względem siebie konstrukcji maszyn wydobywczych i transportowych. W tym celu stosuje się jedno- lub dwustopniowe tzw. zabezpieczenia krańcowe

oraz bardzo ważne, z punktu widzenia bezpieczeństwa ludzi i sprzętu, zabezpieczenie „**Wszystko Stop**”. W artykule omówiono podstawowe testy sprawdzające skuteczność działania układów elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej przeprowadzane w warunkach rzeczywistych eksploatowanych urządzeń elektrycznych w kopalni odkrywkowej. Celem tych testów jest ocena prawidłowości działania urządzeń zabezpieczających przed porażeniem prądem elektrycznym, nieprawidłowością pracy elementów lub podzespołów mechanicznych oraz innymi zdarzeniami zagrażającymi zdrowiu lub życiu personelu obsługującego urządzenia w kopalni.

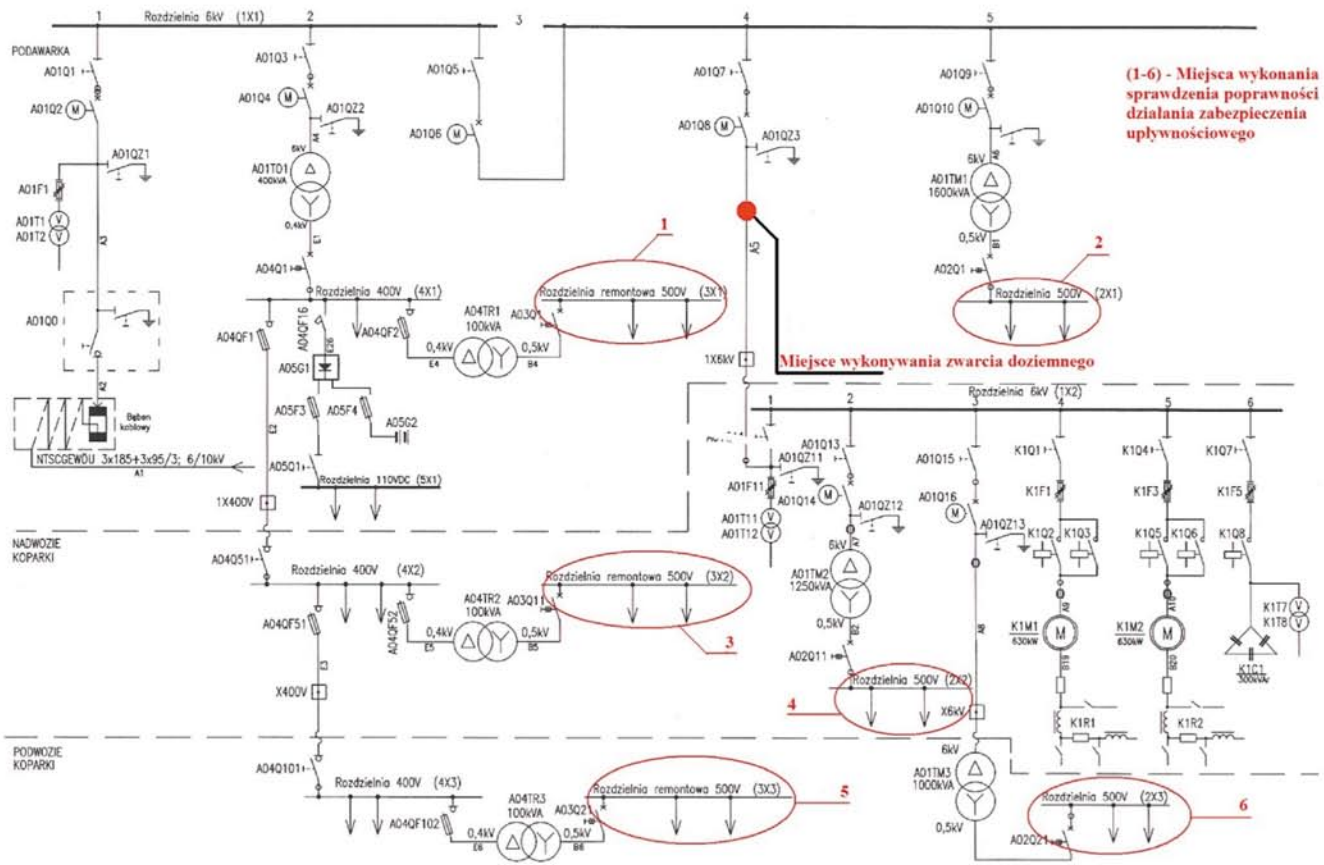
### Badania prawidłowości działania zabezpieczeń od jednofazowych zwarć doziemnych

Jednofazowe zwarcia doziemne należą do najczęściej występujących zaburzeń, zwłaszcza w sieciach średniego napięcia, przy czym skutki tych zwarć mogą się uwidaczniać również w sieciach niskiego napięcia. Do przyczyn, które powodują zwarcia doziemne wskutek uszkodzenia lub osłabienia izolacji urządzeń i maszyn elektrycznych oraz przewodów i kabli można zaliczyć:

- mechaniczne uszkodzenia ,
- termiczne – przeciążeniowe,
- elektryczne- przepięciowe.

Skuteczność działania zabezpieczeń od jednofazowych zwarć doziemnych można sprawdzać dwoma sposobami. Pierwszy polega na symulacji, najbardziej zbliżonych do rzeczywistych, warunków zwarciovych poprzez wymuszenie w obwodach pierwotnych układu zabezpieczenia odpowiedniej wartości prądu i napięcia składowej zerowej powodującego zadziałanie członu ziemnozwarciowego. Drugi natomiast polega na sprawdzeniu skuteczności działania zabezpieczenia podczas rzeczywistych zwarć doziemnych bezpośrednio w badanej sieci. Ten drugi sposób winien stanowić podstawowe kryterium oceny prawidłowości działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych po każdorazowej modernizacji lub wymianie aparatury zabezpieczeniowej. Ma to miejsce na przykład po przeprowadzanej modernizacji konkretnego urządzenia lub po dokonaniu zmian





Rys. 1. Schemat układu zasilania koparki SRs1800 z oznaczonymi miejscami, w których wykonywano testy sprawdzające poprawność działania zabezpieczeń od zwarć doziemnych

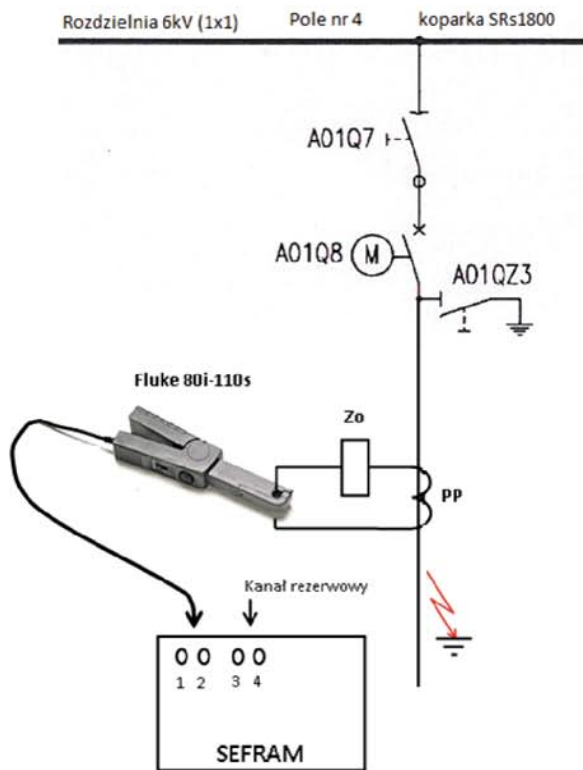
Fig. 1. Scheme of SRs1800 excavator power-supply system with marked areas in which control tests checking proper operation of earth fault protection were conducted

konfiguracji sieci zasilających. Dzięki tak przeprowadzonemu testowi dokonuje się weryfikacji nie tylko nastaw zabezpieczeń ale także oceny zagrożeń wynikających z wartości i rozkładu napięć dotykowych i rażeniowo-dotykowych w bezpośrednim sąsiedztwie badanej maszyny podczas rzeczywistego zwarcia doziemnego. Dla przykładu, na rysunku 1, pokazano schemat ideowy układu zasilania maszyny górniczej (koparka SRs-1800) z zaznaczonymi rozdzielniami, w których dokonywano prób zwarciovych oraz badań prawidłowości działania układu do kontroli stanu izolacji w sieci niskiego napięcia 500V z izolowanym punktem neutralnym (sieć typu IT 500V).

Testowanie zabezpieczeń ziemnozwarciowych podczas rzeczywistych zwarć doziemnych przeprowadzono w polach rozdzielni średniego napięcia 6kV na nadwoziu koparki. Zwarcie doziemne metaliczne zostało wykonane w wybranej fazie, tak jak pokazano na rysunku 2. Podczas każdego testu należy rejestrować zarówno przebiegi wartości chwilowych i skutecznych prądu zwarciovego jak i rozkład napięć dotykowych (rażeniowo-dotykowych) w bezpośrednim sąsiedztwie konstrukcji metalicznej układu jezdnej np. koparki. Wartość prądu jednofazowego zwarcia doziemnego zależy zarówno od sposobu pracy punktu neutralnego sieci jak i od impedancji obwodu zwarciovego zwłaszcza wartości impedancji w miejscu zwarcia [1]. Skuteczne wartości prądu zwarciovego praktycznie mieszczą się w szerokich granicach od pojedynczych amperów (sieci izolowane) do kilkudziesięciu amperów (w sieci z uziemionym przez rezystor punktem neutralnym). Należy podkreślić, że podczas każdego zwarcia występuje stan przejściowy, którego czas trwania zależy od stałej czasowej

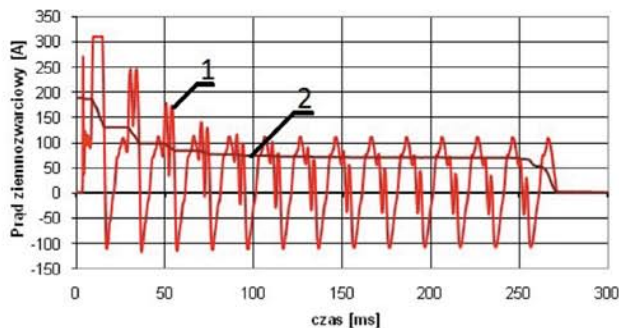
obwodu zwarciovego. Wartości prądu udarowego (w pierwszej chwili zwarcia) mogą wielokrotnie przekraczać wartość prądu zwarciovego w stanie ustalonym. Konsekwencją tego może być pojawienie się niebezpiecznych (dla obsługi) wartości napięć dotykowych (rażeniowo-dotykowych). Z praktycznego punktu widzenia wymagany czas rejestracji przebiegów zwarciovych powinien być nie mniejszy niż 200ms. Przykładowe przebiegi prądu zwarcia doziemnego i napięcia dotykowego podczas metalicznego zwarcia jednofazowego w sieci 6kV, z uziemionym przez rezystor punktem neutralnym, pokazano na rysunkach 3 i 4. Z przedstawionych na rysunkach 3 i 4 przebiegów wynika, że ustalona skuteczna wartość prądu zwarciovego wyniosła 69 A zaś udar prądowy, w pierwszej chwili zwarcia, przekraczał 300 A, przy czym stan przejściowy trwał około 100 ms. Pomierzone wartości skuteczne napięć dotykowych, w odległości 1 m od układu jezdnej maszyny (koparki), nie przekroczyły w stanie ustalonym 10 V, przy czym zauważalny jest szybki zanik trwania stanu przejściowego w rejestrowanym napięciu. Wynika to z faktu nierównomiernego rozprzysku prądu ziemnozwarciowego w miejscu zwarcia. Pomimo zatem dużego udaru prądu ziemnozwarciowego maksymalna wartość napięcia dotykowego nie przekroczyła 25 V. Wynika stąd wniosek, że w systemach ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym, w których zastosowano system uziemionych przewodów ochronnych (SUPO) a elementy jezdne lub konstrukcyjne są posadowione na gruncie, w miejscu doziemienia tworzy się węzeł elektryczny wpływający na rozprysk prądu zwarciovego. W efekcie wartości napięć dotykowych (rażeniowo-dotykowych) stabilizują się na poziomie wartości napięć bezpiecznych co ilustruje rysunek 4.





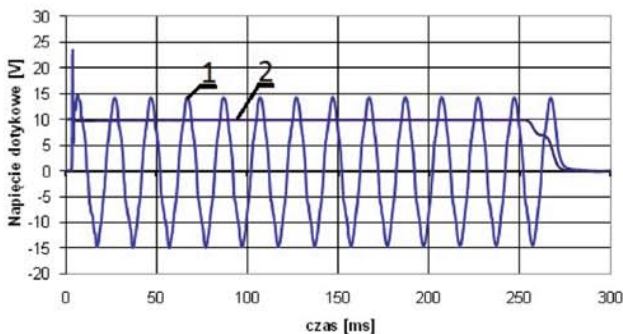
Rys. 2. Schemat układu pomiarowego do badania prawidłowości działania zabezpieczeń od jednofazowych zwarć doziemnych (doziemnie w fazie L1)

Fig. 2. Scheme of measurement system for proper operation control tests of single-phase earth fault protection (earth fault in L1 phase)



Rys. 3. Zarejestrowane przebiegi prądu ziemnozwarciowego. (1)-wartości chwilowe, (2)- wartości skuteczne

Fig. 3. Registered run of variable current (1)- instantaneous value, (2)- effective value



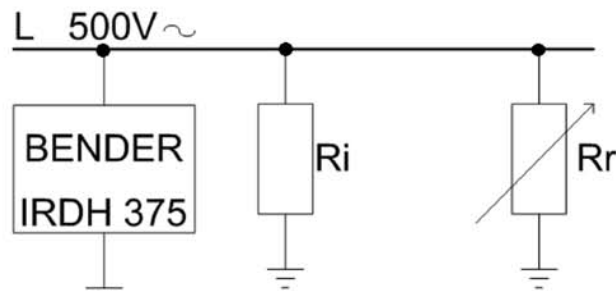
Rys. 4. Zarejestrowane przebiegi wartości napięcia dotykowego w odległości 1m od konstrukcji metalowej układu jezdnego maszyny (koparki). (1)- wartości chwilowe, (2)-wartości skuteczne

Fig. 4. Registered run of touch voltage values in a distance of 1 m form metal construction of machine (excavator) suspension system (1)- instantaneous value, (2)- effective value

Oznacza to, że zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym jest minimalne jeśli jest zagwarantowana ciągłość przewodu ochronnego PE. Należy w tym miejscu podkreślić, że dodatkowym czynnikiem zwiększającym bezpieczeństwo jest uziom naturalny utworzony w miejscu zetknięcia (posadowienia) konstrukcji metalowej maszyny górniczej (np. gąsienic koparki) z gruntem. Przeprowadzone badania wykazały, że nawet podczas braku ciągłości przewodu ochronnego PE tak utworzony uziom naturalny może skutecznie ograniczyć wartość napięć dotykowych podczas zwarć doziemnych [2]. Ponadto praca sieci 6 kV z uziemionym przez rezystor punktem neutralnym o odpowiednio dobranej wartości rezystancji ogranicza wartość prądu ziemnozwarciowego, a tym samym wydatnie zmniejsza wartość spodziewanych napięć dotykowych.

### Badania skuteczności działania układu kontroli stanu izolacji w sieci IT 500V

W sieciach kopalnianych niskiego napięcia pracujących z izolowanym punktem neutralnym prąd zwarcia, podczas doziemienia jednej z faz, jest mały i zależy przede wszystkim od wartości napięcia składowej zerowej  $U_0$  w miejscu zwarcia i susceptancji pojemnościowej doziemnej danej sieci. W tego typu sieciach stosuje się układy zabezpieczające jedno- lub dwustopniowe przeznaczone do ciągłej kontroli stanu izolacji. W badanej sieci zastosowano zabezpieczenie typu ISOMETER® IRDH 375 firmy BENDER, w którym pierwszy stopień sygnalizuje stan izolacji w przypadku gdy jej wartość obniży się do 40 kΩ zaś drugi stopień nastawiony na 24 kΩ działa bezpośrednio na odłączenie zasilania od zabezpieczanej sieci. Test sprawdzający polega na symulacji doziemienia w jednej z faz badanej sieci za pomocą rezystora pomiarowego o regulowanej wartości rezystancji. Schemat ideowy układu pomiarowego pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat pomiarowy do sprawdzenia skuteczności działania zabezpieczenia upływnościowego.  $R_i$  – rezystancja izolacji sieci,  $R_r$  – rezystor probierczy

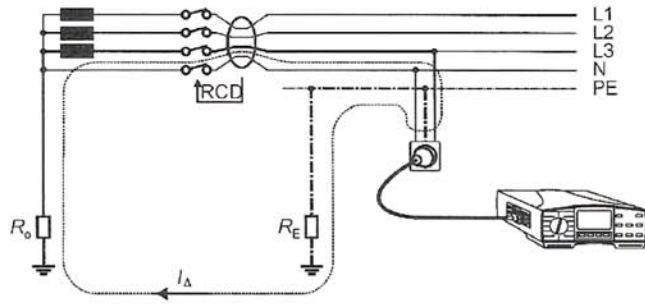
Fig. 5. Scheme of measuring system for assessment of operation effectiveness of leakage protection,  $R_i$  – grid insulation resistance,  $R_r$  – test resistor

W układzie pomiarowym rezystor probierczy  $R_r$  jest włączony równolegle do wypadkowej rezystancji izolacji  $R_i$  sieci. Degradacja i/lub uszkodzenie izolacji zabezpieczanej sieci symulowana jest przez odpowiednią zmianę wartości rezystancji  $R_r$  powodując sygnalizację dla pierwszego stopnia i wyłączenie dla drugiego stopnia nastawienia.

### Test działania wyłączników różnicowo-prądowych

W sieciach napięć pomocniczych niskiego napięcia zarówno jednofazowych (230 V) jak i trójfazowych (400 V) ochrona przeciwporażeniowa jest realizowana za pomocą odpowiednio





Rys. 6. Schemat układu pomiarowego do badania skuteczności działania wyłączników różnicowo – prądowych  
 Fig. 6. Scheme of measuring system for operation effectiveness tests of switches

dobrych i nastawionych wyłączników różnicowo-prądowych. Wyłączniki te działają zarówno podczas zwarcia doziemnych jak i podczas wzrastającej wartości prądu upływu wynikającej z pogarszającego się stanu izolacji. Przykładowo na testowanej maszynie (koparka SRs-1800) zainstalowano wyłączniki o nastawionej wartości zadziałania prądu różnicowego równej  $I = 30 \text{ mA}$ . Test działania wyłączników różnicowo-prądowych przeprowadza się odpowiednim przyrządem pomiarowym (np. Eurotest firmy METREL) zgodnie ze schematem układu pomiarowego pokazanym na rysunku 6.

Średnia wartość prądów zadziałania, pomierzonych w różnych punktach badanej sieci wynosiła ok. 20 mA zaś średni czas wyłączenia testowanego obwodu wyniósł ok. 80 ms.

### Test prawidłowości działania wyłączników krańcowych i obwodów bezpieczeństwa „WSZYSTKO STOP”

Wyłączniki krańcowe spełniają głównie rolę zabezpieczenia przed ewentualną kolizją współpracujących ze sobą elementów konstrukcyjnych maszyny oraz ograniczenia przemieszczania się wybranego, ruchomego, członu maszyny. Mogą być one wykonane jako jedno- lub dwustopniowe (działające na sygnał lub wyłączenie zabezpieczanej części maszyny). Głównym źródłem pobudzenia jest w tym przypadku zewnętrzna siła mechaniczna działająca na dźwignię ruchomego zestyku elektrycznego wyłącznika krańcowego tak jak pokazano to na rysunku 7.

Przeprowadzany test ma na celu sprawdzenie ciągłości obwodu elektrycznego podczas symulowanego mechanicznego najazdu na dźwignię układu mechanicznego zabezpieczenia. Wykonane próby w warunkach rzeczywistych powinny potwierdzić prawidłowość działania wszystkich zainstalowanych na koparce wyłączników krańcowych. Każde, ważne dla procesu technologicznego kopalni urządzenie, które potencjalnie może zagrażać bezpieczeństwu pracy musi być wyposażone

### Literatura

- [1] J.L. Blackburn T.J. Domin, *Protective Relaying. Principles and Applications*. CRC Press, Boca Roton, 2007
- [2] Miedziński B., Okraszewski Z., Szkółka S., Szymański A., *Effective reduction of an electric shock hazard in mining MV feeders*. WSEAS Transactions on Power Systems. 2006 vol. 1, iss. 8, s. 1573-1580

Artykuł recenzowali prof. dr hab. inż. Dionizy Dudek  
 dr hab. inż. Tadeusz Nowakowski, prof. PWr  
 Rękopis otrzymano 26.07.2011 r. \*2223



Rys.7. Wyłączniki krańcowe mechanizmu obrotu głównego. Wyłączenie obwodu obrotu (kolor biały). Obwód bezpieczeństwa „WSZYSTKO STOP” (kolor czerwony)  
 Fig. 7. Limit switches of main rotary mechanism. Rotary circuit shutdown (white colour). Safety circuit “ALL STOP” (red colour)

również w wyłączniki i obwody bezpieczeństwa „WSZYSTKO STOP”. Obwody te, w odniesieniu na przykład do koparki, są podzielone na tak zwane pętle logiczne - związane bezpośrednio z określoną funkcją technologiczną - i działają na wyłączenie układu zasilania i w konsekwencji zatrzymanie zabezpieczanego elementu technologicznego maszyny. Sprawdzenie skuteczności działania obwodów bezpieczeństwa „WSZYSTKO STOP” polega na ręcznym lub mechanicznym pobudzeniu wszystkich zainstalowanych na maszynie wyłączników „WSZYSTKO STOP” i sprawdzeniu czy z poszczególnych pętli logicznych wysyłany jest impuls elektryczny na wyłączenie głównego zasilania maszyny.

### Uwagi końcowe

Zapewnienie bezpiecznej eksploatacji urządzeń elektrycznych zainstalowanych na maszynach górniczych wymaga bezwzględnego okresowego testowania zastosowanych układów elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej. Podstawowym zadaniem tych układów jest nie tylko ochrona personelu przed skutkami porażenia prądem elektrycznym ale także niedopuszczenie lub wydatne ograniczenie skutków awarii sieci i urządzeń elektrycznych oraz urządzeń i konstrukcji mechanicznych. Najbardziej wiarygodne wyniki stanowiące kryterium oceny uzyskuje się podczas testów wykonywanych w rzeczywistych warunkach kopalni. Dzięki temu, w sposób naturalny, są uwzględnione wszystkie warunki i czynniki decydujące o bezpieczeństwie pracy.