

Piotr GAWOR
Politechnika Śląska, Gliwice

MOŻLIWOŚCI OGRANICZANIA RYZYKA ZWIĄZANEGO Z ZAGROŻENIAMI ELEKTRYCZNYMI W GÓRNICTWIE

Streszczenie. W artykule przedstawiono ważniejsze cechy charakteryzujące systemy zasilania wysoko wydajnych kompleksów wydobywczych w górnictwie węgla kamiennego i zwrócono uwagę na związane z nimi zagrożenia elektryczne. Przedstawiono elementy ryzyka porażenia prądem elektrycznym, wybuchu metanu i związanego z występowaniem prądów błędzących. Podkreślono rolę odpowiedzialności i kwalifikacji użytkowników maszyn i urządzeń stosowanych w zaawansowanych technologiach górniczych.

POSSIBILITIES OF REDUCING ELECTRIC HAZARDS RISKS INVOLVED IN MINING

Summary. The scope of the paper is the discussion of major features characterizing supply systems of heavy duty longwall machinery in hard coal mining and the associated risks. Elements of electric shocks, methane explosions and stray currents risks are presented. The importance of the responsibility and qualifications of staff operating machines and equipment used in advanced mining technologies is highlighted.

1. Wstęp

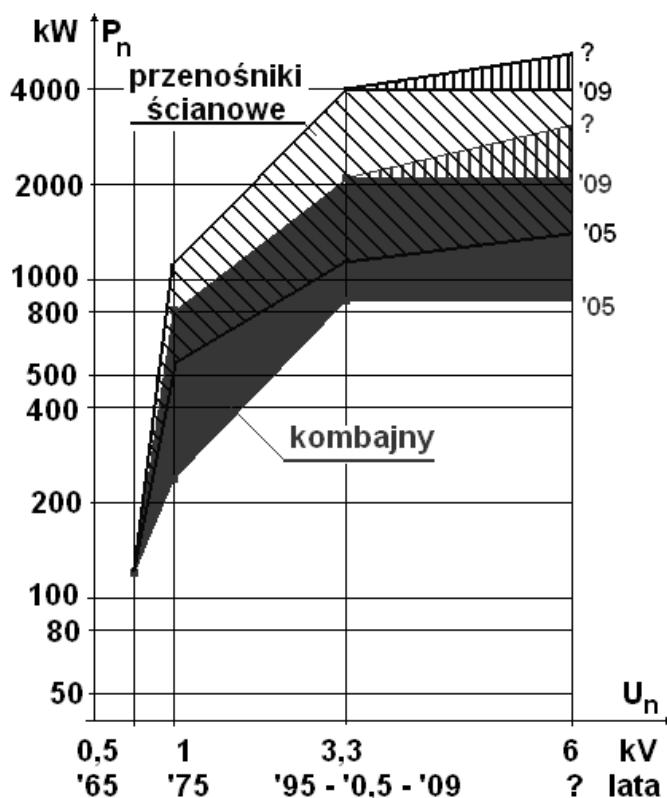
Niezbędny w warunkach restrukturyzacji górnictwa i oczekiwany przez różne gremia wzrost wydajności z przodka wiąże się m. in. z koniecznością stosowania wysoko wydajnych maszyn górniczych. Te z kolei, charakteryzując się coraz wyższymi wartościami mocy znamionowych i zapotrzebowanych, stawiają coraz to wyższe wymagania elektroenergetycznym sieciom zasilającym i urządzeniom stosowanym w tych sieciach. Podejmując decyzję zastosowania wysoko wydajnego kompleksu ścianowego, nie zawsze w dostatecznym stopniu bierze się pod uwagę stan istniejącej w zakładzie górniczym sieci

elektroenergetycznej rozdzielczej średniego napięcia. Pociągnąć to może za sobą trudności wykorzystania potencjalnych możliwości kompleksu, a w konsekwencji presję na prowadzenie eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych i związanych z nimi systemów zabezpieczających w sposób odbiegający od stanów roboczych właściwych. Nie jest to obojętne dla bezpieczeństwa użytkowania urządzeń elektrycznych. Zagrożenia elektryczne ujawniają się nie tylko w odniesieniu do osób stykających się z urządzeniami elektrycznymi (np. możliwość porażenia prądem elektrycznym lub oparzenia łukiem elektrycznym), ale w istotny sposób powiązane są z zagrożeniami naturalnymi, których efektem mogą być katastrofy górnicze (np. zainicjowanie pożaru lub wybuchu metanu).

W artykule wskazano elementy ryzyka związanego z poszczególnymi zagrożeniami elektrycznymi, zwracając uwagę na możliwość ich redukcji oraz na rolę czynnika ludzkiego w kształtowaniu poziomu tego ryzyka.

2. Zagrożenia elektryczne w warunkach zaawansowanych technologii górniczych

Zaawansowane technologie górnicze (wysoko wydajne kompleksy ścianowe kombajnowe i strugowe) wymagają dostarczenia odpowiedniej ilości energii elektrycznej, ok. 45-50 kWh/tonę wydobywania. Rosnące jednostkowe moce znamionowe silników maszyn przodkowych (por. rys. 1) i związany z tym wzrost mocy zapotrzebowanej całego kompleksu ścianowego wymagają zwrócenia szczególnej uwagi na sieć zasilającą poszczególne maszyny, a także na sieć rozdzielczą średniego napięcia zakładu górniczego, z której wysoko wydajny kompleks ścianowy ma być zasilany.



Rys. 1. Obserwowany dotychczas i przewidywany (obszary zakreskowane pionowo) wzrost mocy znamionowych (P_n) wybranych maszyn górniczych i towarzyszący mu wzrost napięć nominalnych (U_n) sieci zasilających

Fig. 1. Observed and forecasted (vertically marked zones) increase of the rated power of selected mining machinery and the associated rise of nominal voltage (U_n) in supply networks

W większości krajowych kopalń węgla kamiennego sieci rozdzielcze średniego napięcia (6 kV) były projektowane i budowane w drugiej połowie dwudziestego wieku, gdy moce zapotrzebowane maszyn były znacznie mniejsze, a wymagania odnośnie do niezawodności ich zasilania nie tak wysokie jak obecnie. Próby przyłączenia do takich sieci odbiorców o mocy zapotrzebowanej rzędu kilku megawatów mogą ujawnić problemy, wynikające z wzajemnego niedopasowania. Sieci rozdzielcze, z których mają być zasilane wysoko wydajne kompleksy ścianowe, powinny się charakteryzować:

- wartością napięcia nominalnego umożliwiającą przesłanie dużej mocy zapotrzebowanej przy ograniczonych wartościach spadków napięcia,
- odpowiednio dużą wartością mocy zwarciowej, pozwalającą na bezzakłóceniowe przeprowadzenie rozruchów maszyn oraz zapewniać odpowiednio czułe i wybiórcze działanie zabezpieczeń zwarciowych (odpowiednią „sztywnością” sieci),
- optymalną rozległością zapewniającą poprawne działanie zabezpieczeń ziemnozwarciowych, przy jednoczesnym ograniczeniu wartości prądu ziemnozwarciowego,

- ograniczonym poziomem przepięć generowanych w sieci lub przenoszonych do niej,
- brakiem wrażliwości na oddziaływania innych odbiorników (nie należących do kompleksu ścianowego), które powodują odkształcanie napięcia lub wprowadzają inne zakłócenia.

Jednym z postulatów podnoszonych od dłuższego czasu jest potrzeba wprowadzenia sieci rozdzielczych o napięciach nominalnych wyższych od 6 kV [4, 8]. Charakterystyczne jest, że wartości napięć znamionowych silników maszyn górniczych w Polsce w ciągu ostatnich 30-40 lat wzrastały od 500 V, poprzez 1000 V, 3300 V do 6000 V, a poziom napięcia nominalnego sieci rozdzielczych pozostaje bez zmian.

Energia elektryczna powinna być dostarczana do kompleksu ścianowego w odpowiedniej ilości, charakteryzować się określoną jakością i nie stwarzać dodatkowych zagrożeń oraz nie intensyfikować zagrożeń istniejących dotychczas. Zagrożenia występujące w górnictwie można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- zagrożenia naturalne,
- zagrożenia związane z urządzeniami energomechanicznymi.

Do zagrożeń naturalnych zalicza się: zagrożenie pożarowe, zagrożenie metanowe, zagrożenie wybuchem pyłu węglowego, zagrożenie tapaniami, zagrożenie wyrzutami gazów i skał, zagrożenie wodne, zagrożenie erupcyjne, zagrożenie siarkowodorowe, zagrożenie radiacyjne naturalnymi substancjami promieniotwórczymi i zagrożenie działaniem pyłów szkodliwych dla zdrowia.

Zagrożenia energomechaniczne powstają w przypadku kontaktu człowieka lub środowiska z urządzeniami mechanicznymi (maszynami górniczymi) i z urządzeniami elektrycznymi. W przypadku tych ostatnich mówi się o tzw. zagrożeniach elektrycznych, w wyniku których może dojść do:

- porażenia prądem elektrycznym lub/i oparzenia łukiem elektrycznym,
- zapalenia metanu lub materiałów łatwopalnych,
- wybuchu metanu mogącego zainicjować wybuch pyłu węglowego,
- niebezpiecznych zdarzeń wynikających z występowania prądów błędzących i zakłóceń elektromagnetycznych.

Wyposażenie elektryczne maszyn (silniki, łączniki, zabezpieczenia, układy sterowania, systemy monitorujące pracę) powinno być dostosowane do warunków środowiskowych oraz do specyfiki technologii górniczej. Zwłaszcza dostosowanie do specyfiki technologii staje się coraz ważniejsze. W warunkach, gdy moce maszyn urabiających i odstawczych osiągają

skrajnie duże wartości (do niedawna trudne do wyobrażenia), niezbędna staje się czasem konieczność dostosowywania zadań wydobywczych i sposobu ich realizacji (np. głębokość zabioru i prędkość posuwu kombajnu lub głębokość i liczba skrawów struga) do możliwości maszyn i ich zasilania. Nawet w sytuacji, gdy wyposażenie elektryczne samego kompleksu ścianowego (od przewoźnych stacji transformatorowych do silników maszyn) jest odpowiednie, może się zdarzyć, że w wyniku niewłaściwych parametrów sieci rozdzielczej albo wymuszania przez obsługę maszyny urabiającej niewłaściwych parametrów jej pracy dochodzi do zbyt częstych przestojów i wzrostu poziomu zagrożeń elektrycznych.

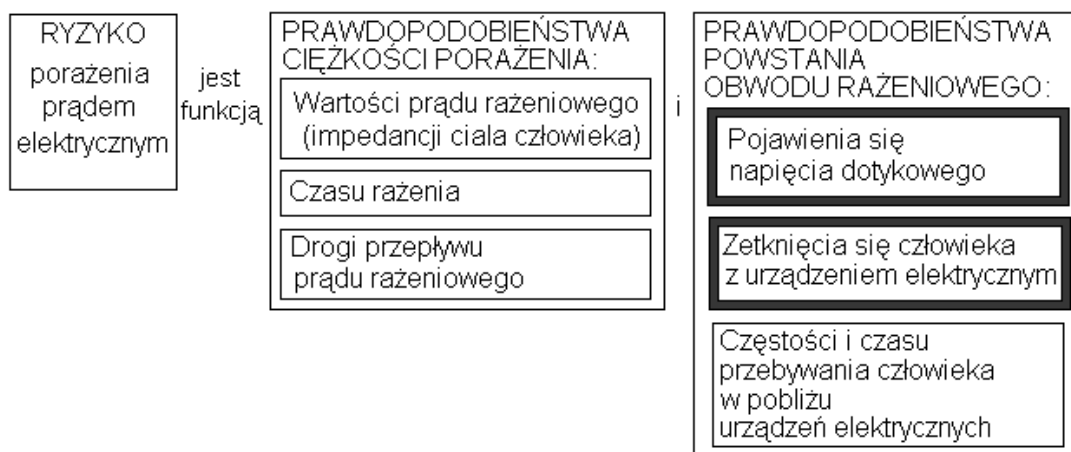
3. Elementy składowe ryzyka związanego z zagrożeniami elektrycznymi i możliwości ich redukcji

Ryzyko jako miara, a także jako zjawisko podlegające zarządzaniu powinno być wyrażone ilościowo. Biorąc pod uwagę złożoność zjawisk, zachowań i postaw, jakich ryzyko dotyczy, trzeba zdawać sobie sprawę z trudności napotykaną przy podejmowaniu prób ściśle ilościowego opisu poszczególnych elementów składających się na ryzyko [1]. Znajduje to wyraz m. in. w normie określającej zasady oceny ryzyka związanego z maszynami [6], w której znajduje się następująca uwaga: *Zastosowanie metod ilościowych jest ograniczone liczbą możliwych do uzyskania użytecznych danych i dlatego w wielu zastosowaniach możliwa jest tylko jakościowa ocena ryzyka. Dlatego też decyzje podejmowane w procesie oceny ryzyka (...) powinny być wsparte metodami jakościowymi uzupełnianymi tak dalece, jak jest to możliwe, metodami ilościowymi.*

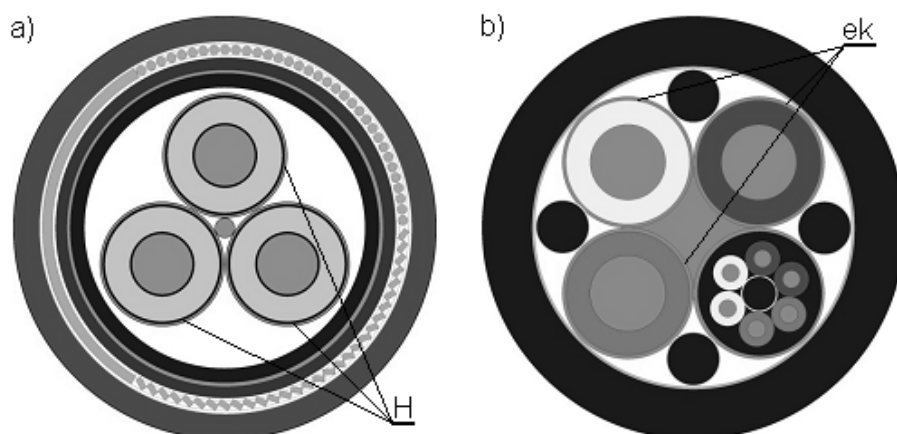
Ryzyko jest zwykle określane jako funkcja dwóch prawdopodobieństw: ciężkości skutków i powstania zagrożenia. Przykładowo, na ryzyko porażenia prądem elektrycznym składa się sześć niezależnych elementów przedstawionych schematycznie na rys. 2. W każdym z tych elementów można wyróżnić czynniki ryzyka [1], czyli niezależne pojedyncze zjawiska, zdarzenia, cechy, czynności lub zachowania składające się w odpowiednim połączeniu na zaistnienie wypadku lub powstanie warunków wpływających na jego skutki. Każdy z czynników ryzyka podlega analizie i ocenie ilościowej, a ich wzajemne powiązania przedstawiać można np. za pomocą drzewa niezdatności [1, 2, 3].

Do najważniejszych działań redukujących ryzyko zagrożenia porażeniowego należy zaliczyć:

- powszechne stosowanie sieci o izolowanym punkcie neutralnym, której eksploatacja jest wprawdzie droższa i trudniejsza (np. w porównaniu z sieciami o uziemionym punkcie neutralnym, stosowanymi powszechnie na powierzchni), ale zapewnia wyższy poziom bezpieczeństwa,
- stosowanie kabli i przewodów oponowych specjalnej konstrukcji (ekranowanych) zmniejszających możliwość powstania zwarcia międzyfazowego i wydostania się napięcia na zewnątrz – rys. 3, rys. 4,
- stosowanie bezzwłocznego samoczynnego wyłączenia zasilania, gdy dochodzi do uszkodzenia izolacji decydującej o zagrożeniu porażeniowym.

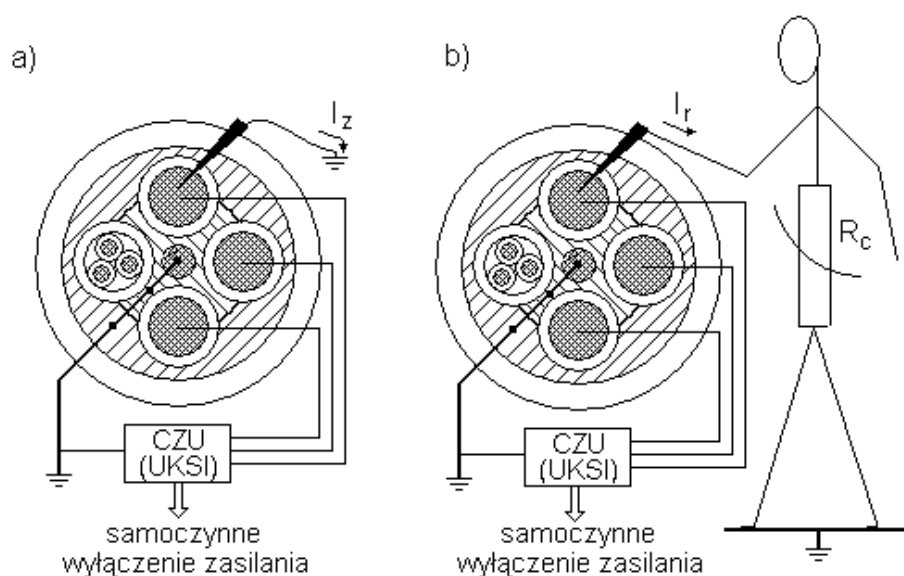


Rys. 2. Elementy ryzyka porażenia prądem elektrycznym
Fig. 2. Elements of fire shock risk



Rys. 3. Przykładowe konstrukcje górniczych kabli ekranowanych (a) i przewodów oponowych (b). H – uziemiony ekran ochronny kabla wykonany jako obwój z taśm miedzianych, ek – uziemiony ekran ochronny przewodu oponowego wykonany jako oplót z drutów miedzianych lub z mieszanek przewodzących

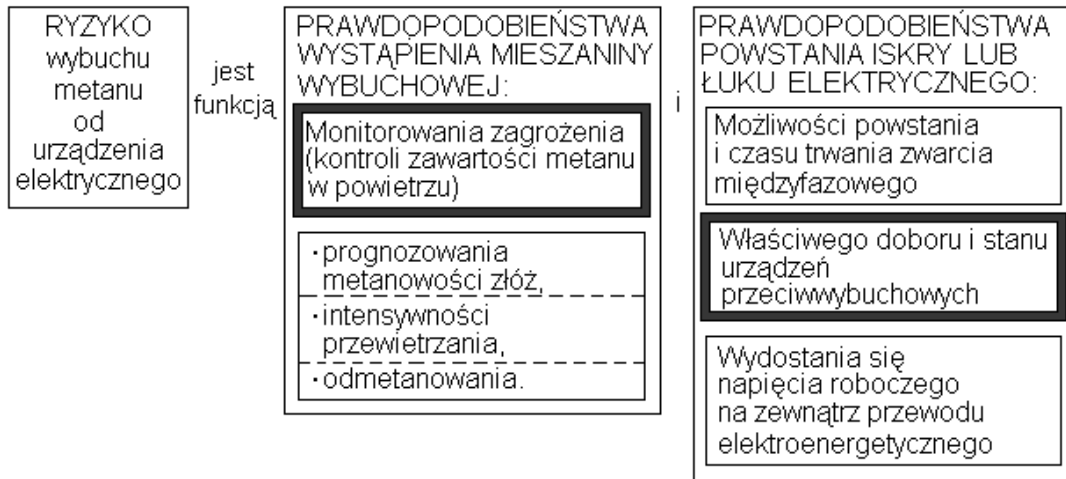
Fig. 3. Exemplary structures of mining screened cables (a) and flexible cables (b). H – earthed protective screen of a cable made as copper tape, ek – earthed protective screen of a flexible cables made as copper wire or conductive mixtures



Rys. 4. Zasada kontroli stanu izolacji doziemnej przewodu oponowego ekranowanego i eliminowania możliwości wydostania się napięcia fazowego na zewnątrz przewodu w przypadku uszkodzenia przewodu ostrym przedmiotem: a) przypadek zwarcia doziemnego, b) przypadek dotyku bezpośredniego

Fig. 4. The principle of controlling the condition of ground insulation of screened tire cords and eliminating possibilities of line-to-neutral voltage in cases of conduit damage by sharp objects: a) case of phase-to-earth fault, b) case of direct contact

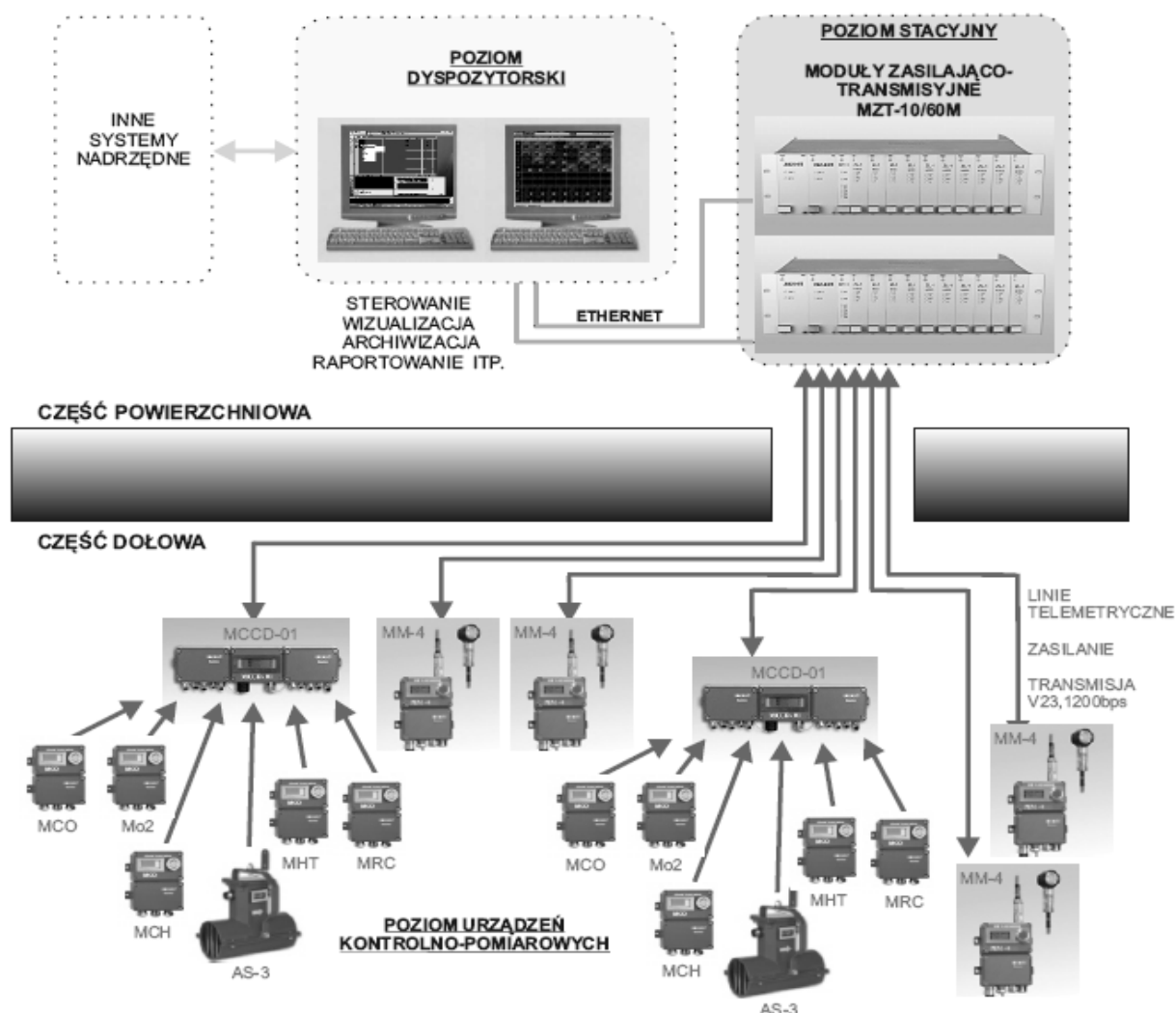
W ryzyku zainicjowania przez urządzenie elektryczne wybuchu metanu wyróżnić można z kolei siedem niezależnych elementów (rys. 5). Elementy leżące poza zakresem działania służb elektrycznych przedstawiono na rys. 5 łącznie jako jeden element złożony.



Rys. 5. Elementy ryzyka wybuchu metanu spowodowanego pracą urządzeń elektrycznych
 Fig. 5. Elements of methane explosion risk evoked by the operation of electric equipment

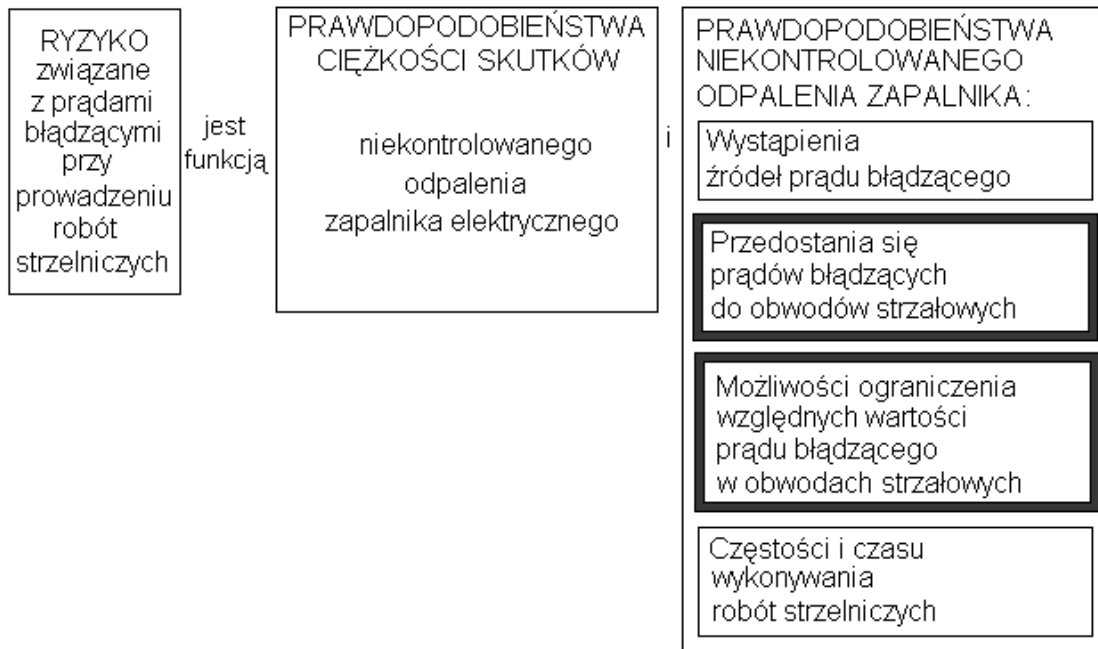
Do ważniejszych działań redukujących ryzyko wybuchu metanu zaliczyć należy:

- stosowanie stale doskonalonych rozbudowanych systemów metanometrycznych (rys. 6) współpracujących z systemami alarmowo-zgłoszeniowymi, uwzględniających skomplikowane zjawiska występujące np. podczas wyrzutów metanu [9],
- stosowanie czułych i szybkich zabezpieczeń zwarciovych, zmniejszających prawdopodobieństwo powstania niebezpiecznych iskier lub łuku elektrycznego,
- ścisłe przestrzeganie procedur certyfikacji, doboru urządzeń elektrycznych przeciwwybuchowych oraz kontroli ich stanu.



Rys. 6. Schemat przykładowego systemu monitorowania zagrożenia metanowego w kopalni
 Fig. 6. Diagram of an exemplary system of monitoring methane hazards in coal mines

Mimo malejącej roli robót strzelniczych w kopalniach stosujących zaawansowane technologie górnicze, ciągle aktualne pozostają zagrożenia związane z występowaniem prądów błądzących. Elementy ryzyka niekontrolowanego odpalenia zapalnika elektrycznego przedstawiono na rys. 7. Szczególne znaczenie w redukowaniu tego ryzyka ma przestrzeganie zasad wykonywania pomiarów okresowych przez służby elektryczne i pomiarów doraźnych przez strażaków, a także odpowiednie zasilanie sieci trakcyjnych i utrzymywanie sieci dolnej w odpowiednim stanie [1].



Rys. 7. Elementy ryzyka związanego z prądami błądzącymi przy prowadzeniu robót strzelniczych
 Fig. 7. Elements of risk involved in stray currents occurrence during blasting operations

4. Rola odpowiedzialności i kwalifikacji użytkowników oraz osób obsługujących maszyny i urządzenia zaawansowanych technologii górniczych

Praktycznie w każdym z elementów ryzyka wskazać można dwa rodzaje czynników:

- określające właściwości (zwłaszcza niezawodność) środków technicznych,
- zachowania osób użytkujących i obsługujących środki techniczne (tzw. czynnik ludzki).

Analiza przyczyn i przebiegu wypadków porażenia prądem elektrycznym i oparzenia łukiem elektrycznym [1] wskazuje na znaczący udział czynnika ludzkiego. Rzadko zawodzą środki ochrony przeciwporażeniowej. Niezbędna jest odpowiedzialność i roztropność człowieka działającego w bardzo trudnym środowisku. Nielatwe warunki klimatyczne panujące w ścianach i chodnikach przyścianowych ulegają dalszemu pogorszeniu w wyniku stosowania wysoko wydajnych maszyn i ich wyposażenia elektrycznego.

Nagrzewanie się maszyn i urządzeń elektrycznych podczas pracy, szczególnie przy ich dużych mocach znamionowych, przyczynia się do podwyższenia temperatury otoczenia. Jest to niekorzystne tak ze względów ergonomicznych (powiększa dyskomfort cieplny), jak również dla pracy urządzeń elektrycznych.

Duże gabaryty urządzeń zasilających, współmierne z wymiarami wyrobisk, powiększają ciasnotę i sprzyjają możliwości dotykania urządzeń elektrycznych, w tym również średniego napięcia.

Naturalna intensyfikacja zagrożeń elektrycznych wynikająca z zastosowania wyższych wartości napięć znamionowych powinna być równoważona odpowiednią jakością zastosowanych urządzeń, odpowiednimi rozwiązaniami organizacyjnymi oraz odpowiednio wysokim poziomem kwalifikacji i odpowiedzialności osób użytkujących i obsługujących sieci i urządzenia zasilające oraz systemy zabezpieczające. Na rys. 2, 5 i 7 zaznaczono te elementy ryzyka, które w szczególny sposób wiążą się z działalnością osób, zwłaszcza pracowników ruchu elektrycznego.

W warunkach stosowania zaawansowanych technologii górniczych odpowiedzialność za sposób eksploatacji urządzeń elektrycznych zasilających, a więc i pośrednio na poziom zagrożeń elektrycznych, rozkłada się również na użytkowników maszyn. W systemach zautomatyzowanej pracy maszyn urabiających, np. strugów, istotne znaczenie ma sposób zaprogramowania parametrów tej pracy. Osoba programująca pracę maszyny zautomatyzowanej powinna również uwzględniać, jako jeden z parametrów, określone możliwości wyposażenia elektrycznego tej maszyny. Trzeba przy tym pamiętać, że ograniczone możliwości wyposażenia elektrycznego mogą wynikać nie tylko z samych właściwości tego wyposażenia (np. jego zawodności w szczególnie trudnych warunkach pracy), ale również z niedostosowania sieci rozdzielczej średniego napięcia do zasilania wysoko wydajnych kompleksów.

5. Zakończenie

Wyposażenie elektryczne maszyn górniczych i układów ich zasilania, pracujące w specyficznych, nierzadko bardzo trudnych warunkach środowiskowych podziemi kopalń, może stać się przyczyną zagrożeń elektrycznych, którym mogą podlegać zarówno pracownicy ruchu elektrycznego, jak i wszystkie inne osoby, stykające się z urządzeniami elektrycznymi bądź przebywające w wyrobiskach, w których te urządzenia pracują. Ryzyko związane z zagrożeniami elektrycznymi zależne jest od wielu czynników technicznych oraz od czynnika ludzkiego. Niektóre z tych czynników nabierają szczególnego znaczenia i mogą się intensyfikować w warunkach wprowadzania zaawansowanych technologii górniczych, np. wysoko wydajnych kompleksów ścianowych. Niespotykane dawniej duże moce

znamionowe poszczególnych maszyn przodkowych i związana z tym bardzo duża moc zapotrzebowana całego kompleksu wprowadza nową jakość w eksploatacji istniejącego układu elektroenergetycznego kopalni. Należy wyprzedzająco dokonać analizy wzajemnego dopasowania właściwości kompleksu i cech charakterystycznych istniejącej sieci rozdzielczej średniego napięcia. Z analizy tej mogą wynikać wnioski wskazujące na konieczność rekonstrukcji istniejącej sieci, z kablami szybowymi i transformatorami zasilającymi kopalnię włącznie. Niedostateczne uwzględnienie tych zagadnień może doprowadzić z jednej strony do braku możliwości uzyskania zakładanej wydajności z wysoko wydajnego (teoretycznie!) przodka, a z drugiej do intensyfikacji niektórych zagrożeń elektrycznych.

BIBLIOGRAFIA

1. Gawor P.: Analiza i ocena ryzyka związanego z użytkowaniem sieci trakcji elektrycznej przewodowej w zakładach górniczych. Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 264. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
2. Gawor P.: Elementy i czynniki ryzyka porażenia prądem elektrycznym od urządzeń elektrycznych górniczych. Kwartalnik Górnictwo i Geologia, Tom 2, Zeszyt 4. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
3. Gawor P.: Wpływ niekorzystnych zmian impedancji ciała człowieka na ryzyko porażenia prądem elektrycznym. Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 286. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008.
4. Gawor P., Boron S., Cholewa A.: Uwarunkowania podwyższenia napięcia znamionowego sieci rozdzielczych i zasilających w zakładach górniczych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2009, nr 7.
5. Krasucki F.: Zagrożenia elektryczne w górnictwie. Wyd. „Śląsk”, Katowice 1984.
6. PN-EN 1050:1999 Maszyny. Bezpieczeństwo – Zasady oceny ryzyka.
7. PN-G-42041: 1997. Środki ochronne i zabezpieczające w elektroenergetyce kopalnianej. System uziemiających przewodów ochronnych. Wymagania.
8. Staszewski K.: Wprowadzenie napięcia 10 kV w podziemnej sieci elektroenergetycznej w KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG „Rudna”. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2004, nr 7.
9. Wasilewski S.: Zintegrowany czujnik wykrywania wyrzutu. Telekomunikacja i Systemy Bezpieczeństwa w Górnictwie ATI 2009. Szczyrk 20.09 – 2.10.2009. Materiały Konferencyjne wydane nakładem Katedry Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa Politechniki Śląskiej.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Krzysztof Cybulski

Abstract

Forecasted mining output from the face of works entails, among other factors, the necessity of using high-efficiency mining machinery characterized by increasing values of the rated power and power demands. This involves higher energy-efficiency requirements imposed on power supply networks. In undertaking the decision about using heavy duty longwall machinery current conditions of medium-voltage supply networks in given coal mines are not always taken into consideration, which may exert an impact on the safety of using all electric equipment. The equipment of mining machinery and their supply systems, especially under specific underground environment, may evoke electric hazards both to staff operating the equipment as well as to all other people in contact with it. The risk involved in electric hazards depends on many technical factors, but also on the human one. Some of the factors are particularly important and may be subject of intensification under the conditions of implementing advanced mining technologies, for example: heavy duty longwall machinery. Inadequate consideration of these issues may lead to failure in achieving the assumed production output and intensification of some electric hazards.