

## ZARZĄDZANIEM BEZPIECZEŃSTWEM EKSPLOATACJI SIECI ELEKTROENERGETYCZNYCH W GÓRNICTWIE

*Sergiusz BORON*  
*Politechnika Śląska*

**Streszczenie.** W artykule scharakteryzowano zagrożenia powodowane użytkowaniem sieci elektroenergetycznych w wyrobiskach podziemnych zakładach górniczych, ze szczególnym uwzględnieniem zagrożenia porażeniowego i wybuchowego. Przedstawiono środki ochronne zapewniające ograniczenie zagrożeń powodowanych stanami zakłóceniovymi w sieciach. Środki te związane są z odpowiednią konstrukcją aparatury oraz linii kablowych, układem sieci, zasadami doboru zabezpieczeń elektroenergetycznych, a także organizacją pracy przy urządzeniach elektrycznych.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo elektryczne, sieci elektroenergetyczne

### WSTĘP

Linie kablowe należy uznać za jeden z najistotniejszych elementów układu zasilania w energię elektryczną maszyn i urządzeń górniczych, co jest powodowane poniższymi czynnikami:

- kable w zasadniczym stopniu decydują o niezawodności zasilania odbiorników mających istotne znaczenie z punktu widzenia efektów produkcyjnych oraz bezpieczeństwa załogi,
- ze względu na specyfikę swojej budowy, kable w szczególny sposób podlegają narażeniom środowiskowym (mechanicznym i innym), co wynika z braku obudowy chroniącej przed uszkodzeniami (urządzenia elektryczne górnicze wyposażone są w osłony o dużej wytrzymałości mechanicznej).

Powyższe względy sprawiają, że do podstawowych właściwości, jakimi powinny cechować się kable górnicze, należy zaliczyć:

- bezawaryjną pracę w celu zapewnienia wymaganej ciągłości zasilania, szczególnie dotyczy to linii zasilających obiekty podstawowe zakładu górniczego,
- zdolność do ograniczania zagrożeń powodowanych eksploatacją kabli, ze szczególnym uwzględnieniem zagrożenia wybuchowego, porażeniowego i pożarowego.

W artykule przedstawiono najważniejsze zagrożenia związane z użytkowaniem elektroenergetycznych linii kablowych w warunkach podziemi kopalń oraz zasady konstrukcji, eksploatacji i stosowane środki ochronne zapewniające właściwy poziom bezpieczeństwa.

### IDENTYFIKACJA ZAGROŻEŃ

#### Zagrożenie porażeniowe

Jak wynika z analiz przyczyn wypadków, do których dochodzi w górnictwie, porażenia prądem elektrycznym które ujmowane są w statystykach są stosunkowo nieliczne<sup>1</sup>. Przykładowo w latach 2007-2012 w górnictwie podziemnym odnotowano 40 wypadków

---

<sup>1</sup> Krzystalik M.: Wypadki związane z oddziaływaniem prądu elektrycznego w latach 2011-2012. XIV KKEG, Zakopane, 2012 r.

porażenia, w tym 3 wypadki śmiertelne. Z kolei w latach 2005-2011 2,8% wypadków śmiertelnych i 1,6% wypadków ciężkich spowodowane było czynnikami elektrycznymi. Wynika to z głównie z faktu, że w podziemiach kopalń stosowane są sieci elektroenergetyczne pracujące w układzie z izolowanym punktem neutralnym transformatora, które uznać należy za bezpieczniejsze od sieci uziemionych, powszechnie stosowanych w niskonapięciowych układach przemysłowych. W sieciach izolowanych prąd zwarcia jednofazowego jest niewielki, co pociąga za sobą ograniczenie wartości napięć dotykowych (decydujących o skutkach porażenia) pojawiających się w wyniku uszkodzenia na częściach przewodzących dostępnych. W sieciach izolowanych funkcję jednego ze środków ochrony przeciwporażeniowej pełni system uziemiających przewodów ochronnych (SUPO). Wg normy<sup>2</sup> system ten powinien być wykonany tak, aby ograniczyć napięcie dotykowe do wartości nieprzekraczającej napięcia dotykowego dopuszczalnego  $U_{dd}$ :

$$U_{dd} \geq R_{ws} \cdot I_z \quad (1)$$

gdzie:

$R_{ws}$  – rezystancja uziemienia (wypadkowa rezystancja SUPO),  $\Omega$ ,

$I_z$  – prąd ziemnozwarciowy sieci, A.

Napięcie dotykowe dopuszczalne  $U_{dd}$  przyjmuje się równe 25 V w przypadku oceny skuteczności SUPO w sieciach niskonapięciowych lub w zależności od czasu trwania zwarcia z ziemią w sieci rozdzielczej średniego napięcia (jednak nie więcej niż 50 V). Z uwagi na to, że w rzeczywistych sieciach niskonapięciowych prąd zwarcia jednofazowego najczęściej nie przekracza 1 A, spodziewane napięcie dotykowe jest znacznie mniejsze od dopuszczalnego, a spełnienie warunku określonego zależnością (1) nie przysparza żadnych problemów. W rozległych sieciach rozdzielczych średniego napięcia prąd ziemnozwarciowy może osiągać wartości powyżej 100 A i spełnienie warunku (1) wymaga odpowiednio niskich wartości rezystancji uziemienia  $R_{ws}$ . Na rezystancję tę składają się rezystancje uziomów (centralnych i lokalnych) oraz przewodów ochronnych. Przykładowo, przy prądzie ziemnozwarciowym równym 180 A dla czasu trwania zwarcia poniżej 1,2 s, napięcie dotykowe dopuszczalne jest równe<sup>3</sup> 50 V, a maksymalna rezystancja uziemienia wynosi:

$$R_{wsmax} = \frac{U_{dd}}{I_z} = \frac{50}{180} = 0,28 \Omega \quad (2)$$

Warunek ten (2) może być trudny do spełnienia, szczególnie w kopalniach suchych, w których wykonanie uziomów lokalnych o odpowiednio niskiej rezystancji jest często niemożliwe. W takich sytuacjach, niezależnie od odpowiedniego wykonania uziomów, istotne jest zapewnienie niewielkiej rezystancji przewodów ochronnych. Rolę przewodów ochronnych obecnie pełnią żyły ochronne kabli (przewodów) elektroenergetycznych. Żyły te najczęściej wykonywane są w formie ekranów indywidualnych (taśmy miedziane nawinięte na izolację każdej żyły roboczej), lub w przypadku kabli bez ekranów indywidualnych, w postaci ekranu ogólnego (taśmy nawinięte na powłokę). Przekrój znamionowy żyły ochronnej w przypadku kabli nieekranowanych jest mniejszy niż w kablach ekranowanych (w

<sup>2</sup> PN-G-42041:1997 Środki ochronne i zabezpieczające w elektroenergetyce kopalnianej – System uziemiających przewodów ochronnych – Wymagania, s. 7

<sup>3</sup> Ibidem, s. 8

zależności od przekroju żył roboczych nawet trzykrotnie<sup>4</sup>), co niekorzystnie wpływa na rezystancję SUPO. Wynika z tego wniosek, że stosowanie kabli z ekranami indywidualnymi korzystnie wpływa na ograniczenie zagrożenia porażeniowego pojawiającego się przy uszkodzeniu izolacji i zwarciu jednofazowym.

Należy jednak podkreślić, że praktycznie wszystkie ciężkie i śmiertelne wypadki porażenia prądem elektrycznym w kopalniach są efektem tzw. dotyku bezpośredniego, czyli dotknięcia części czynnej będącej pod napięciem. Najczęstszą przyczyną tych wypadków jest niewłaściwa eksploatacja urządzeń i sieci, a w szczególności praca po napięciem (dostęp do wnętrza osłon urządzeń elektrycznych niewyłączonych spod napięcia)<sup>5</sup>. Należy podkreślić, że zgodnie z przepisami „wykonywanie w wyrobiskach prac pod napięciem jest dozwolone tylko w obwodach i instalacjach elektrycznych typu SELV lub PELV”<sup>6</sup>. Częste lekceważenie tego przepisu nie może być usprawiedliwione brakiem wiedzy czy też problemami kadrowymi w ruchu elektrycznym, chociaż faktem jest, że stopień wyszkolenia fachowego pracowników ruchu elektrycznego w kopalniach jest często niewystarczający, a poziom zatrudnienia elektromonterów i dozoru ruchu elektrycznego utrzymuje się na zbyt niskim poziomie<sup>7</sup>. Nierzadko wypadkom porażenia ulegają doświadczeni elektrycy, których jednym z zadań jest nadzór nad młodszymi współpracownikami. Należy podkreślić, że właściwe zachowanie pracowników, szczególnie starszych stażem, docenianie ważności przepisów BHP i brak akceptacji dla zachowań ryzykownych ma bezpośredni wpływ na kształtowanie kultury bezpieczeństwa w zakładzie pracy<sup>8</sup>.

Do dotyku bezpośredniego może też dojść w wyniku przypadkowego kontaktu człowieka z uszkodzonym kablem lub przewodem oponowym. Przyczyną uszkodzenia może być przetarcie izolacyjnych warstw kabla lub wbicie przewodzącego przedmiotu do kabla powodujące wyniesienie napięcia roboczego na zewnątrz. Zagrożenie porażeniowe w tych sytuacjach może zostać radykalnie zmniejszone dzięki zastosowaniu kabli ekranowanych (z uziemionymi ekranami indywidualnymi). W kablach takich, każde uszkodzenie izolacji powoduje połączenie żyły roboczej z uziemionym ekranem i wyłączenie kabla spod napięcia w wyniku zadziałania odpowiedniego zabezpieczenia (ziemnozwarciowego lub upływowego). Warunkiem skuteczności tego środka ochronnego jest stosowanie zabezpieczeń wyłączających (przepisy w szczególnych wypadkach dopuszczają stosowanie zabezpieczeń działających na sygnalizację).

W celu ograniczenia zagrożenia porażeniowego należy więc dążyć do zastępowania kabli nieekranowanych kablami z ekranami indywidualnymi. Dodatkową zaletą kabli ekranowanych jest korzystny (równomierny) rozkład pola elektrycznego i temperaturowego w izolacji, co korzystnie wpływa na ich trwałość.

---

<sup>4</sup> Katalog kabli i przewodów. DRUT-Plast Fabryka Kabli i Przewodów Sp. z o.o., 2005 r.

<sup>5</sup> Krzystolik M.: Eksploatacja sieci i urządzeń elektroenergetycznych w zakładach górniczych. Problematyka, nieprawidłowości i wnioski. XII KKEG, Szczyrk 2008 r., s. 12-14

<sup>6</sup> Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych, § 659 ust. 1.

<sup>7</sup> Krzystolik M.: Eksploatacja..., op. cit., s. 10

<sup>8</sup> Gembalska-Kwiecień A.: Kształtowanie kultury bezpieczeństwa w przedsiębiorstwie. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Organizacja i Zarządzanie z. 63a, Gliwice, 2012, s. 197.

### Zagrożenie wybuchowe

Podstawowe zagrożenie związane z eksploatacją linii kablowych w wyrobiskach podziemnych zakładów górniczych wynika z możliwości wydostania się na zewnątrz łuku elektrycznego w przypadku uszkodzenia kabla, co stwarza szereg zagrożeń, w tym zagrożenie zapłonem lub wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Zagrożenie to dotyczy przede wszystkim ścian wydobywczych, przodków przygotowawczych oraz sąsiednich wyrobisk, głównie ze względu na zwiększone wydzielanie się metanu w tych rejonach, a także z uwagi na intensywność robót tam prowadzonych, co zwiększa narażenia na uszkodzenia mechaniczne. W wymienionych wyrobiskach eksploatowane są przede wszystkim instalacje odbiorcze o napięciu niskim (do 1000 V) lub średnim 3,3 kV. Poziom zagrożenia wybuchowego stwarzanego przy zwarceniu z ziemią zależy przede wszystkim od ilości energii wydzielającej się w miejscu zwarcia. Energia ta decyduje o możliwości rozerwania kabla (przewodu) i wytworzenia czynnika inicjującego wybuch (iskry lub łuku elektrycznego). Przeprowadzone badania wykazują<sup>9</sup>, że orientacyjna minimalna wartość krytycznej energii cieplnej  $E_{kr}$  wydzielanej w miejscu zwarcia, przy której możliwe jest wyrzucenie łuku do otoczenia wynosi ok. 4000 J.

Jak wynika z obserwacji praktycznie każde zwarcie międzyfazowe w kablu lub przewodzie elektroenergetycznym, do którego dochodzi przy jednoczesnym uszkodzeniu izolacji dwóch względnie trzech faz, może prowadzić do wydostania się łuku elektrycznego na zewnątrz kabla. Wg badań laboratoryjnych wyrzut łuku (iskier) na zewnątrz kabla może nastąpić już po 5÷20 ms od chwili zwarcia<sup>10</sup>, z czego wynika, że stosowane zabezpieczenia nadprądowe nie zapobiegają skutecznie temu zdarzeniu (czas wyłączenia zwarcia jest z reguły dłuższy). Poza zagrożeniem wybuchowym, zwarcia międzyfazowe są również źródłem zagrożenia pożarowego, a w sytuacji bliskości człowieka również oparzeniowego. Wymienione zagrożenia mogą być w znacznym stopniu ograniczone dzięki zastosowaniu kabli ekranowanych i wyłączeniu kabla spod napięcia we wczesnej fazie rozwijającego się uszkodzenia, przy czym mechanizm tego wyłączenia jest identyczny do opisanego wcześniej. W kablach z uziemionymi ekranami indywidualnymi już w momencie uszkodzenia izolacji jednej fazy powstaje zwarcie jednofazowe (powodujące znacznie mniejsze zagrożenia niż zwarcie międzyfazowe), które powinno zostać wyłączone wskutek zadziałania zabezpieczenia ziemnozwarciowego lub upływowego zanim dojdzie do uszkodzenia izolacji drugiej fazy i zwarcia międzyfazowego.

Jak już zaznaczono wyżej, poziom zagrożenia wybuchowego powodowanego zwarciami jednofazowym (doziemieniem) zależy od wartości energii wydzielającej się w miejscu zwarcia. Prąd zwarcia jednofazowego  $I_s$  w sieci z izolowanym punktem neutralnym określony jest zależnością:

$$I_s = \frac{U_0}{\sqrt{R_f^2 + \frac{R_i^2 + 6R_i R_f}{9(1 + \omega^2 C_0^2 R_i^2)}}} \quad (3)$$

<sup>9</sup> Boron S.: Zasadność stosowania ekranów kontrolnych w przewodach oponowych zasilających maszyny przodkowe. Przegląd Górniczy, nr 5/2012, s. 33

<sup>10</sup> Boron W.: Linie kablowe w podziemnych zakładach górniczych. Rozprawy i Monografie. Wyd. EMAG. Katowice, 2006 r., s. 82

gdzie:

$C_0$  – pojemność doziemna jednej fazy sieci, F,

$U_0$  – napięcie fazowe, V,

$R_i$  – rezystancja izolacji,  $\Omega$ ,

$\omega$  – pulsacja napięcia zasilającego,  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Moc wydzielająca się w miejscu zwarcia z ziemią zależy od wartości prądu zwarciovego  $I_s$  oraz rezystancji uszkodzenia  $R_f$ :

$$P_s = I_s^2 \cdot R_f = \frac{U_0^2 R_f}{R_f^2 + \frac{R_i^2 + 6R_i R_f}{9(1 + \omega^2 C_0^2 R_i^2)}} \quad (4)$$

Jak wynika z obliczeń<sup>11</sup>, w rzeczywistych instalacjach przodkowych o napięciu nieprzekraczającym 3300 V maksymalna moc, jaka może się wydzielić się w miejscu zwarcia jednofazowego wynosi ok. 4,2 kW, z czego wynika, że aby spełniony został warunek ograniczenia maksymalnej energii wydzielającej się w miejscu zwarcia, czas trwania zwarcia powinien być ograniczony do wartości poniżej 1 s. Zgodnie z normami<sup>12,13</sup> w sieciach o napięciu do 1 kV oraz w sieciach zasilających maszyny przodkowe o napięciu powyżej 1 kV czas zadziałania zabezpieczeń upływowch lub ziemnozwarciowych nie powinien przekraczać 0,1 s, co skutecznie ogranicza zagrożenie wybuchowe powodowane zwarciami z ziemią.

W sieciach rozdzielczych o napięciu 6 kV, ze względu na dużą ich rozległość, a co za tym idzie pojemność doziemną, energia wydzielająca się w miejscu zwarcia jest znacznie większa i może osiągać wartości rzędu kilkudziesięciu kW. Ograniczenie zagrożenia wybuchowego w tych sieciach można osiągnąć przez szybkie wyłączenie zwarć z ziemią (zgodnie z normą<sup>14</sup> w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem należy stosować zabezpieczenia ziemnozwarciowe bezzwłoczne o czasie działania własnym nie dłuższym od 0,1 s). Dodatkowo, przy doborze kabli w nowych lub modernizowanych sieciach, zaleca się stosowanie kabli o izolacji wykonanej z polietylenu usieciowanego. Przenikalność elektryczna względna izolacji, która jest jednym z czynników decydujących o pojemności doziemnej kabla, dla polietylenu usieciowanego wynosi ok. 2,4 czyli ponad dwukrotnie mniej niż dla polwinitu izolacyjnego, który również stosowany jest jako materiał izolacyjny w kablach górniczych. Prąd ziemnozwarciowy dla kabli o izolacji z polietylenu jest w efekcie prawie dwukrotnie mniejszy niż w przypadku izolacji polwinitowej, co przekłada się na około dwukrotnie mniejsze wartości maksymalnej mocy i energii wydzielanej w miejscu zwarcia.

<sup>11</sup> Boron S.: Zasadność..., op. cit., s. 33.

<sup>12</sup> PN-G-42040:1996 Środki ochronne i zabezpieczające w elektroenergetyce kopalnianej –Zabezpieczenia upływowe – Wymagania i badania, s. 4

<sup>13</sup> PN-G-42070:2000 Elektroenergetyka kopalniana – Sieci elektroenergetyczne o napięciu znamionowym powyżej 1 kV zasilające maszyny przodkowe – Wymagania, s. 5

<sup>14</sup> PN-G-42044:2000 Środki ochronne i zabezpieczające w elektroenergetyce kopalnianej – Zabezpieczenia ziemnozwarciowe – Wymagania i zasady doboru

## **ORGANIZACJA PRAC PRZY NAPRAWIE I ŁĄCZENIU KABLI**

Kolejnym czynnikiem, który istotnie wpływa na bezpieczeństwo eksploatacji sieci elektroenergetycznych jest sposób wykonywania prac podczas naprawy i łączenia kabli i przewodów w miejscu ich zainstalowania. Wynika to z następujących przesłanek:

- mufy kablowe są jedynym elementem sieci elektroenergetycznych w podziemiach kopalń, który jest w całości wykonywany w miejscu ich zainstalowania,
- prace przy łączeniu i naprawach wykonywane są często w niesprzyjających warunkach klimatycznych (duża wilgotność, obecność wody kapiącej, zapylenie) i organizacyjno-technicznych (ciasnota pomieszczeń, słaba jakość oświetlenia, presja wywierana na służby elektryczne), co może mieć negatywny wpływ na jakość prac montażowych,
- prace związane z odsłonięciem żył roboczych stwarzają ryzyko porażenia prądem elektrycznym w razie błędnej identyfikacji kabla lub przypadkowego załączenia go pod napięcie.

Powyższe względy sprawiają, że wykonywanie prac przy naprawie i łączeniu kabli powinno być obwarowane przepisami minimalizującymi możliwość popełnienia błędów przez personel wykonujący prace montażowe. Zgodnie z przepisami<sup>15</sup> prace takie powinny być wykonywane zgodnie z instrukcją opracowaną na podstawie zasad określonych przez rzeczoznawcę. Status rzeczoznawcy w tym zakresie został przyznany Instytutowi Technik Innowacyjnych EMAG, który opracował szczegółowe zasady wg jakich należy wykonywać czynności z tym związane<sup>16</sup>. Do najważniejszych czynników mających wpływ na jakość wykonywanych napraw i połączeń należy zaliczyć:

- wysokie kwalifikacje personelu wykonującego naprawy i łączenia uzyskane w wyniku przejścia odpowiednich szkoleń (organizowanych m.in. przez rzeczoznawcę),
- odpowiednią jakość materiałów i narzędzi stosowanych przy wykonywaniu prac (produkowane są kompletne zestawy naprawcze przeznaczone dla konkretnych typów kabli i przewodów),
- jednoznaczność i szczegółowość opisu technologii wykonywania czynności,
- system kontroli jakości wykonywanych prac (odbiory techniczne).

W zakresie czynników decydujących o bezpieczeństwie wykonywania prac szczególną uwagę należy zwrócić na identyfikację kabla (przewodu), przy którym będzie się wykonywać prace, np. przecinanie. Czynności z tym związane należy zaliczyć do prac wykonywanych w warunkach szczególnego zagrożenia dla zdrowia i życia i wykonuje się je na polecenie pisemne. Kabel i przewód należy również zabezpieczyć przed przypadkowym załączeniem pod napięcie.

## **ZABEZPIECZENIA ELEKTROENERGETYCZNE SIECI**

Zadaniem zabezpieczeń stosowanych w sieciach elektroenergetycznych jest ograniczanie skutków stanów zakłóceńowych poprzez zapobieganie tym stanom lub ich likwidację (najczęściej powodowanie wyłączenia fragmentu sieci objętego zakłóceniem). Ze względu na zwiększony poziom zagrożeń powodowanych stanami zakłóceńowymi w

---

<sup>15</sup> Rozporządzenie Ministra Gospodarki..., op. cit, załącznik nr 4, p. 7.4.1

<sup>16</sup> Zasady łączenia oraz naprawy przewodów oponowych i kabli w podziemnych zakładach górniczych. ITI EMAG, Katowice, 2014 r.

podziemnych wyrobiskach, również wymagania stawiane tym zabezpieczeniom powinny być wyższe niż w przypadku innych sieci przemysłowych. Do wymagań stawianych układom zabezpieczeniowym należy zaliczyć:

- niezawodność, czyli z jednej strony pewność zadziałania w przypadku pojawienia się zakłócenia w chronionym obiekcie, a drugiej strony brak zadziałania wtedy, gdy zakłócenie nie występuje lub występuje w obiekcie przyporządkowanym innemu zabezpieczeniu. Brak potrzebnego zadziałania, może powodować zniszczenia materialne (głównie termiczne uszkodzenia urządzeń i kabli) oraz powstanie szeregu zagrożeń<sup>17, 18</sup>. Z kolei zbędne zadziałanie zabezpieczenia może oznaczać wyłączenie obiektów ważnych z punktu widzenia ciągłości wydobywania oraz bezpieczeństwa (np. wentylatorów głównych, pomp itp.).
- szybkość, która decyduje o czasie trwania zakłócenia, a w przypadku zabezpieczeń zwarciovych o wartości energii wydzielającej się w miejscu zwarcia oraz temperaturze, którą mogą osiągnąć elementy sieci. Czynniki te decydują o zagrożeniu wybuchowym i pożarowym, z tego względu zabezpieczenie chroniące obiekt (np. linię kablową) znajdujący się w przestrzeni zagrożonej wybuchem powinno działać bezzwłocznie. Dotyczy to zarówno zabezpieczeń od skutków zwarcí międzyfazowych (zwarcia wieloprądowe), jak również jednofazowych (w sieciach kopalnianych są to zwarcia małoprądowe). Normy stawiają pod tym względem wysokie wymagania<sup>19, 20, 21</sup>, które mogą nastroić trudności techniczne w realizacji (np. w przypadku sieci zawierających przekształtniki częstotliwości).
- wybiórczość działania, czyli zdolność oddziaływania zabezpieczenia tylko na obiekt (fragment układu elektroenergetycznego) przyporządkowany temu zabezpieczeniu. Podstawowym sposobem zapewnienia wybiórczości działania zabezpieczeń jest wprowadzanie zwłoki czasowej, co jest możliwe tylko w pomieszczeniach niezagrażonych wybuchem (jak wspomniano wyżej w pomieszczeniach niebezpiecznych stosuje się zabezpieczenia bezzwłoczne). Z tego względu, w pomieszczeniach niebezpiecznych, zapewnienie pełnej wybiórczości działania zabezpieczeń jest często niemożliwe, co z kolei może powodować zbędne wyłączenia.
- czułość, czyli zdolność do wykrywania zakłócenia nawet przy niewielkiej zmianie mierzonego parametru (np. prądu, rezystancji itp.). Czułość określana jest liczbowo przez współczynnik czułości definiowany jako stosunek najmniejszej wartości wielkości mierzonej powodującej zadziałanie do wartości nastawczej zabezpieczenia. Większa wartość tego współczynnika powoduje zwiększenia pewności zadziałania zabezpieczenia, ale jednocześnie utrudnia dobór wartości nastawczej. W przypadku zabezpieczeń zwarciovych w podziemiach kopalń wartość współczynnika czułości zależna jest od poziomu zagrożeń i wynosi od 1,3 w pomieszczeniach niezagrażonych wybuchem metanu,

---

<sup>17</sup> Boron S., Cholewa A., Gawor P.: O potrzebie rezerwowania zabezpieczeń elektroenergetycznych w kopalnianych sieciach SN. Zeszyty Nauk. Pol. Śl. Górnictwo, z. 274, Gliwice, 2006 r., s. 157-166.

<sup>18</sup> Gawor P., Cholewa A., Przygodzki A.: Analiza możliwych przyczyn uszkodzeń ognioszczelnych przewoźnych stacji transformatorowych. X KKEG, Jarnołtówek 8-10 września 2004 r., s. 79-92.

<sup>19</sup> PN-G-42040:1996 op. cit.

<sup>20</sup> PN-G-42044:2000 op. cit.

<sup>21</sup> PN-G-42070:2000 op. cit.

poprzez 1,5 w pomieszczeniach niebezpiecznych do 2,0 w przypadku instalacji o napięciu powyżej 1 kV zasilających maszyny przodkowe.

Z uwagi na bardzo istotną rolę środków ochronnych w zapewnieniu bezpieczeństwa eksploatacji sieci elektroenergetycznych, co w szczególności dotyczy zabezpieczeń zwarciovych, bardzo ważne jest, aby zasady doboru tych środków i poziom zapewnianej przez nie ochrony był adekwatny do istniejących zagrożeń. Skutki niewystarczających środków ochronnych są oczywiste – sytuacje takie mogą powodować podwyższenie zagrożeń oraz prowadzić do wypadków lub zniszczeń materialnych. Niewłaściwa jest jednak również przeciwna sytuacja, tzn. jeżeli środki ochronne są nieadekwatnie zaostrome w stosunku do rzeczywistych zagrożeń, co może skutkować znaczną liczbą wyłączeń uznawanych (często słusznie) przez użytkownika za zbędne. Prowadzi to do swobodnego konfliktu interesów, w którym po jednej stronie znajduje się idea wyższego poziomu bezpieczeństwa zapewnianego przez rozbudowane środki ochronne, a po drugiej konieczność zapewnienia odpowiednich właściwości ruchowych, w tym bezprzerwowego zasilania maszyn. W efekcie można zaobserwować<sup>22</sup>:

- świadome eliminowanie przez użytkowników środków ochrony uznanych za zbędne i stwarzające problemy,
- powstawanie i rozpowszechnianie postawy niskiego zaufania do wymagań przepisów.

Szczególnie niebezpieczne jest przenoszenie niewłaściwych postaw również na inne systemy i środki ochrony, które mają decydujące znaczenie w kwestii bezpieczeństwa.

### PODSUMOWANIE

Stosowane w kopalnianych sieciach elektroenergetycznych techniczne środki ochronne zapewniają właściwy poziom bezpieczeństwa, o czym świadczyć może niewielki odsetek wypadków elektrycznych niepowodowanych czynnikiem ludzkim. Wśród tych środków można wymienić m.in.:

- stosowanie sieci z izolowanym punktem neutralnym transformatora,
- wymaganie stosowania kabli i przewodów ekranowanych w instalacjach znajdujących się w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem metanu,
- zaostrome warunki doboru zabezpieczeń elektroenergetycznych,
- system uziemiających przewodów ochronnych zapewniający ograniczenie napięć dotykowych do wartości dopuszczalnych.

W ostatnich 10-20 latach można zaobserwować bardzo dynamiczny postęp techniczny w zakresie wyposażenia maszyn i urządzeń w aparaturę elektryczną, automatyzacji pracy, systemów monitoringu, nadzoru, transmisji danych itp. Poza oczywistymi korzyściami płynącymi z tego procesu, należy zwrócić uwagę na możliwe negatywne skutki postępu technicznego, do których można zaliczyć brak doświadczenia załogi w obsłudze sprzętu, zwiększoną liczbę urządzeń technicznych oraz ograniczenie przestrzeni w wyrobiskach<sup>23</sup>. Biorąc pod uwagę powyższe względy, a także fakt, że zdecydowana większość wypadków elektrycznych powodowana jest nieprawidłowym działaniem ludzi, najczęściej umyślnym

<sup>22</sup> Boron S.: Zasadność..., op. cit., s. 34

<sup>23</sup> Żurakowski Z.: Postęp techniczny a bezpieczeństwo pracy w górnictwie węgla kamiennego w Polsce w latach 1990-2005. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Organizacja i Zarządzanie z. 59, Gliwice, 2011, s. 259



(wynikającym z lekceważenia przepisów), szczególną uwagę trzeba zwrócić na poziom kwalifikacji i świadomości zagrożeń wśród służb elektrycznych, szczególnie u pracowników młodszych stażem. Trudna sytuacja ekonomiczna spółek węglowych może powodować, że będą one szukać oszczędności również w zakresie szkoleń (ograniczanie liczby kursów, niskie kompetencje prowadzących itp.), co już w najbliższej przyszłości może mieć negatywne konsekwencje w postaci zwiększenia wypadkowości.

Na stan bezpieczeństwa elektrycznego mają również niekorzystny wpływ braki kadrowe w służbach elektrycznych, jak i często niska kultura techniczna osób spoza ruchu elektrycznego.

## LITERATURA

1. Boron S.: Zasadność stosowania ekranów kontrolnych w przewodach oponowych zasilających maszyny przodkowe. Przegląd Górniczy, nr 5/2012, str. 31-35.
2. Boron S., Cholewa A., Gawor P.: O potrzebie rezerwowania zabezpieczeń elektroenergetycznych w kopalnianych sieciach SN. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo, z. 274, str. 157-166. Gliwice, 2006 r.
3. Boron W.: Linie kablowe w podziemnych zakładach górniczych. Rozprawy i Monografie. Wyd. EMAG. 2006 r.
4. Gawor P., Cholewa A., Przygodzki A.: Analiza możliwych przyczyn uszkodzeń ognioszczelnych przewoźnych stacji transformatorowych. Materiały X Krajowej Konferencji Elektryki Górniczej „Nowoczesne urządzenia elektryczne zasilające i napędowe w zakładach górniczych”. Jarnołtówek 8-10 września 2004 r.
5. Gembalska-Kwiecień A.: Kształtowanie kultury bezpieczeństwa w przedsiębiorstwie. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Organizacja i Zarządzanie z. 63a, Gliwice, 2012.
6. Katalog kabli i przewodów. DRUT-Plast Fabryka Kabli i Przewodów Sp. z o.o., 2005 r.
7. Krzystolik M.: Eksploatacja sieci i urządzeń elektroenergetycznych w zakładach górniczych. Problematyka, nieprawidłowości i wnioski. XII Krajowa Konferencja Elektryki Górniczej, Szczyrk 2008 r.
8. Krzystolik M.: Wypadki związane z oddziaływaniem prądu elektrycznego w latach 2011-2012 (niepublikowany). XIV Krajowa Konferencja Elektryki Górniczej, Zakopane, 2012r.
9. PN-G-42040:1996 Środki ochronne i zabezpieczające w elektroenergetyce kopalnianej – Zabezpieczenia upływowe – Wymagania i badania.
10. PN-G-42041:1997 Środki ochronne i zabezpieczające w elektroenergetyce kopalnianej – System uziemiających przewodów ochronnych – Wymagania.
11. PN-G-42044:2000 Środki ochronne i zabezpieczające w elektroenergetyce kopalnianej – Zabezpieczenia ziemnozwarciowe – Wymagania i zasady doboru.
12. PN-G-42070:2000 Elektroenergetyka kopalniana – Sieci elektroenergetyczne o napięciu znamionowym powyżej 1 kV zasilające maszyny przodkowe – Wymagania.
13. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. Nr 139, poz. 1169 oraz z 2006 r. Nr 124, poz. 863).

14. Zasady łączenia oraz naprawy przewodów oponowych i kabli w podziemnych zakładach górniczych. ITI EMAG, Katowice, 2014 r.
15. Żurkowski Z.: Postęp techniczny a bezpieczeństwo pracy w górnictwie węgla kamiennego w Polsce w latach 1990-2005. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Organizacja i Zarządzanie z. 59, Gliwice, 2011.