

# 14

## WPŁYW GÓRNICZYCH WARUNKÓW PRACY NA ZABEZPIECZENIA PRZECIWPORAŻENIOWE PRĄDEM

### 14.1 WPROWADZENIE

Szybkie tempo rozwoju górnictwa powoduje zastosowanie coraz większej ilości urządzeń i maszyn zasilanych energią elektryczną, co jest powodem zwiększenia narażenia człowieka na oddziaływanie niebezpiecznego w skutkach prądu elektrycznego. W związku z powyższym następuje wymóg stosowania nowych rozwiązań technicznych i technologicznych w systemach zabezpieczeń przeciwporażeniowych. Praktyka pokazuje, że samo wyposażenie instalacji i urządzeń elektrycznych w środki ochrony przeciwporażeniowej nie eliminuje jeszcze zagrożenia porażeniowego. Konieczne jest wykonywanie badań i pomiarów po montażu i w trakcie eksploatacji pozwalających ocenić czy zastosowane środki ochrony są skuteczne. Skuteczność ochrony ma tutaj decydujące znaczenie, gdyż w wypadku uszkodzeń elementów instalacji bądź urządzenia pracownik obsługujący i jego otoczenie mogą być bezpośrednio, bądź pośrednio narażeni na działanie prądu elektrycznego. Duży wpływ na skuteczność zabezpieczeń oraz wymaganą częstotliwość ich kontrolowania mają warunki klimatyczne występujące na poziomach eksploatacyjnych kopalni.

Celem artykułu jest analiza zabezpieczenia przed niebezpiecznym w skutkach dla człowieka działaniem prądu elektrycznego w warunkach górniczych oraz analiza wpływu warunków klimatycznych kopalni na skuteczność zabezpieczeń. Zaprezentowane w artykule badania przeprowadzono w wybranej kopalni węgla kamiennego „Murcki-Staszic” Katowickiego Holdingu Węglowego SA w rozdzielniach średniego napięcia na poziomach eksploatacyjnych 500 i 720 m w warunkach rzeczywistych panujących w chodnikach kopalnianych.

### 14.2 WPŁYW PRĄDU ELEKTRYCZNEGO NA ORGANIZM LUDZKI

Reakcje organizmu ludzkiego na bodźce elektryczne różnią się od reakcji na inne bodźce zewnętrzne. Według aktualnego stanu wiedzy można rozróżnić trzy główne problemy związane z porażeniem lub poparzeniem ciała ludzkiego prądem elektrycznym:

- skutki przepływu prądu elektrycznego przez ciało ludzkie w zależności od częstotliwości, wartości prądu i czasu przepływu,
- impedancje ciała ludzkiego w zależności od częstotliwości prądu, napięcia dotykowego, powierzchni styku elektrod (elementów przewodzących prąd elektryczny) z ciałem ludzkim,
- ujednoczenie metod pomiaru stanu impedancji ciała ludzkiego.

Międzynarodowe uzgodnienia w zakresie w/w problemów pozwalają na ustalenie zależności między napięciem dotykowym, a czasem jego utrzymania, bez powodowania niebezpiecznych skutków dla ciała ludzkiego [3].

Tkanki części ciała takie jak: skóra, mięśnie, kości itd., które znajdują się na drodze przepływu prądu, stanowią dla tego prądu przeszkodę, którą jest wypadkowy opór elektryczny wymienionych części ciała. Opór posiada składową czynną – rezystancję  $R_C$ , oraz składową bierną – reaktancję  $X_C$ . Suma wektorowa składowych stanowi opór pozorny ciała – impedancję  $Z_C$ , której wartość bezwzględną można obliczyć ze wzoru:

$$Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} \quad (14.1)$$

Ponieważ reaktancja  $X_C$  ma charakter pojemnościowy (rys. 1) jej wartość określa wzór:

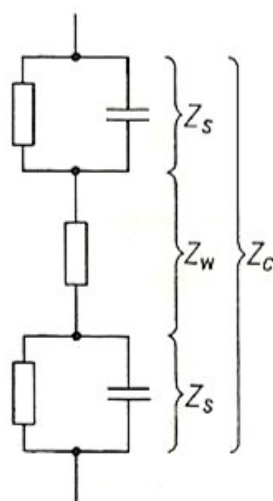
$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (14.2)$$

gdzie:

$C$  – pojemność ciała  $F$ ,

$\omega$  – pulsacja równa  $2\pi f$  (wartość pulsacji dla prądu o częstotliwości  $f = 50 \text{ Hz}$  wynosi 314) [1].

W obliczeniach porównawczych przyjmuje się impedancję ciała  $Z_C$  jako sumę dwóch składowych: impedancji skóry  $Z_S$  i impedancji wewnętrznej ciała  $Z_W$ . Schemat elektryczny zastępczej impedancji ciała  $Z_C$  przedstawiono na rys. 14.1.



**Rys. 14.1 Elektryczny schemat zastępczej impedancji ciała ludzkiego:**

$Z_C$  – impedancja całkowita,  $Z_S$  – impedancja skóry,  $Z_W$  – impedancja wewnętrzna

Źródło: [1]

Przy niskich napięciach dotykowych impedancja skóry jest decydującym składnikiem impedancji całego ciała. Wraz ze wzrostem napięcia dotykowego składnik ten staje się coraz mniejszy i jest pomijalnie mały przy napięciach dotykowych przekraczających 150 V. Impedancja skóry maleje wraz ze wzrostem częstotliwości prądu i stopniem zawilgocenia skóry. Przy wilgotności otaczającego powietrza przekraczającej 75%, jak również przy wyższych napięciach dotykowych, impedancja ciała zależy prawie tylko od impedancji wewnętrznej. W praktyce można przyjąć, że impedancja ciała jest jednakowa na najczęściej spotykanych i przyjmowanych drogach przepływu prądu rażeniowego: ręka – ręka, ręka – noga. Zaznaczyć jednak należy, że występują różne skutki rażenia prądem w zależności od drogi jego przepływu [1].

#### 14.2.1 Skutki rażenia prądem przemiennym

Prąd przemienny o częstotliwości 50 lub 60 Hz jest najbardziej powszechnym w skali światowej nośnikiem przenoszenia energii elektrycznej. Przepływ prądu przemiennego o częstotliwości 15÷100 Hz przez ciało ludzkie niesie ze sobą, wraz ze wzrostem jego natężenia, określone odczucia i reakcje. W przypadku natężenia prądu powyżej 1 mA w większości przypadków następuje drętwienie, ból i skurcze mięśni. Przy określonej, osobniczo zmiennej wartości natężenia prądu skurcze mięśni są tak silne, że nie pozwalają na otwarcie dłoni osobie trzymającej w nich elektrody. Wartość progowa natężenia prądu, przy której istnieje możliwość rozwarcia palców trzymających elektrody i ich wypuszczenie nosi nazwę prądu samo uwolnienia. Zgodnie z raportem IEC wartość tą przyjmuje się na poziomie 10 mA jako graniczne natężenie prądu samo uwolnienia [1]. W przypadku natężenia prądu powyżej 10 mA i czasie trwania rażenia powyżej 5 s, występuje – wraz ze wzrostem natężenia prądu – nasilenie bólu, pojawienie się skurczów mięśni poprzecznie prążkowanych oraz skurczów mięśni oddechowych. Ostatnia reakcja może doprowadzić do niedotlenienia, wzrostu zawartości dwutlenek węgla we krwi, zakwaszenia tkanek, czego efektem widocznym na zewnątrz jest sinica skóry i błon śluzowych. Występujący czasami w tym stadium skurcz naczyń wieńcowych może spowodować zawał mięśnia sercowego. Obserwuje się też inne nieprawidłowości pracy serca, z migotaniem przedsionków włącznie. Natomiast w przypadku większych prądów, powyżej 1 A, prąd rażenia płynący przez okolice serca może dodatkowo spowodować zaburzenia bioelektryczne typu migotania komór serca, co jest równoznaczne z zatrzymaniem czynności serca i zatrzymaniem krążenia krwi. Ten rodzaj zaburzeń pracy serca jest uważany za podstawową przyczynę zgonów podczas porażenia prądem przy niskim napięciu [1].

Wartości progowa natężenia prądu rażenia powodująca migotanie komór zależy od kondycji psychofizycznej człowieka oraz czynników elektrycznych – drogi przepływu prądu, natężenia, rodzaju i kształtu prądu oraz czasu rażenia. Migotanie komór serca może spowodować nawet prąd o natężeniu 50 mA pod warunkiem, że czas rażenia będzie dłuższy niż 1 s. To samo zaburzenie może wystąpić przy czasie oddziaływania 0,01 s, jeżeli natężenie prądu przekroczy 400 mA, a moment rażenia pokryje się z podatną na fibrylację fazą pracy serca [1].

### 14.2.2 Oparzenia ciała łukiem elektrycznym

Innym zagrożeniem jest łuk elektryczny. Powstanie łuku elektrycznego wynika najczęściej ze zwarć w urządzeniach elektrycznych niskiego i wysokiego napięcia. Przyczyną tych zwarć mogą być błędne postępowania ludzi, jak i wady samych urządzeń elektrycznych. Po zapłonie łuk elektryczny wywołuje ciśnieniową falę uderzeniową, która jest wytworzona gwałtownym nagrzewaniem powietrza wzdłuż osi łuku. W tym przypadku głównymi źródłami urazów są fala ciśnieniowa lub odłamki urządzeń zniszczonych przez tą falę. Jednak najczęściej występującymi uszkodzeniami ciałami są oparzenia wywołane wysoką temperaturą łuku [1].

Energia termiczna łuku elektrycznego wywołuje najczęściej obrażenia w odsłoniętych częściach ciała lub słabiej chronionych przez odzież, powodując oparzenia I, II, i III stopnia. Łuk elektryczny jest również niebezpieczny dla oczu – gdyż wytwarza promieniowanie podczerwone, promieniowanie nadfioletowe oraz ze względu na oddziaływanie termiczno-mechaniczne. W przypadku braku ochrony oczu promieniowanie podczerwone dociera aż do siatkówki, powodując lokalne jej uszkodzenia oraz ogrzanie płynu soczewkowego. Promieniowanie nadfioletowe może w głównej mierze uszkodzić rogówkę, która absorbuje ten typ promieniowania prawie w całości.

Oczy jak i twarz są poważnie narażone na uszkodzenia wskutek oddziaływania termiczno-mechanicznego. Powoduje je gorący strumień gazów, który unosi z powierzchni łuku roztopione cząstki metali i materiałów elektroizolacyjnych, pochodzących ze zniszczonych przez łuk urządzeń elektroenergetycznych. Leczenie skutków metalizacji skóry nie sprawia trudności. Nie można tego powiedzieć w przypadku uszkodzenia rogówki ocznej, leczenie jest długotrwałe i skomplikowane, a czasem nie daje żadnych rezultatów i poszkodowany niestety traci wzrok [1].

### 14.3 WPŁYW WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH WYROBISK GÓRNICZYCH NA ZAGROŻENIA PORĄŻENIOWE PRĄDEM

W podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny, w każdym roku wzrasta głębokość prowadzonych robót górniczych, co powoduje w zasadniczym stopniu wzrost zagrożenia klimatycznego. Na zagrożenia klimatyczne mają wpływ również stosowane maszyny i urządzenia o coraz większych mocach. Wśród szeregu kryteriów stosowanych w górnictwie do oceny warunków klimatycznych wykorzystuje się wskaźniki charakteryzujące środowisko termiczne takie jak temperatura, wilgotność, prędkość ruchu powietrza oraz wartość temperatury pierwotnej skał. W wyrobiskach zachodzą procesy wymiany energii i masy między przepływającym powietrzem a źródłami ciepła i wilgoci. Powodują one zmiany wilgotności i temperatury powietrza oraz skał otaczających wyrobisko. Wilgotność powietrza kopalnianego zmienia się pod wpływem następujących czynników:

- wilgotności powietrza wlotowego do kopalni z atmosfery, zależnej przede wszystkim od lokalnych warunków klimatycznych zmieniających się w zależności od pory roku,

- procesów parowania wody ze skał w wyrobisku kopalnianym, zależnych przede wszystkim od wilgotności i temperatury skał wokół wyrobiska i przepływającego powietrza,
- parowania wody ze ścieków, kałuż na spągu, wycieków z otworów wiertniczych, szczelin itp. [9].

W związku ze stopniem zawilgocenia, wyrobiska podziemne dzieli się na:

- suche, w których nie występuje wydzielanie się skroplonej pary wodnej – wilgotność w takich pomieszczeniach przejściowo przekracza 75%, ale nigdy nie osiąga 100%,
- wilgotne, w których skroplona para wodna wydziela się tylko przejściowo w niewielkich ilościach – wilgotność pomieszczenia może stale przekraczać 75%, a czasem osiągnąć 100%,
- mokre, w których wilgotność powietrza jest stale bliska 100%, wskutek czego wszystkie elementy pomieszczenia pokryte są skroploną parą wodną [5].

Warunki środowiskowe podziemi kopalń należy traktować jako czynnik zwiększający ryzyko porażenia prądem elektrycznym. Ograniczone wymiary wyrobisk podziemnych sprawiają, że trzeba się liczyć z możliwością dotknięcia przez człowieka dowolnymi punktami ciała urządzeń elektrycznych zainstalowanych w tych wyrobiskach. Konstrukcja i wykonanie maszyn oraz urządzeń elektrycznych powinno zasadniczo uniemożliwić pojawienie się niebezpiecznej różnicy napięć między ich częściami metalowymi a ziemią. Jednak niekorzystne warunki eksploatacyjne, jakie występują szczególnie w podziemnych wyrobiskach kopalnianych, utrudniają trwałe utrzymanie urządzeń i przewodów elektrycznych w dobrym stanie oraz pogarszają ich właściwości izolacyjne. Należą do nich duża wilgotność, podwyższona temperatura oraz często ograniczona prędkość przepływu powietrza. Istnieją również inne czynniki sprzyjające występowaniu znacznych prądów rażenia. Czynniki te zmniejszają rezystancję drogi przepływu prądu przez ciało człowieka, a należą do nich m.in. obfite pocenie się wywołane ciężką pracą w gorącej i nasyconej parą wodną atmosferze oraz obecność znacznych mas metalowych o znikomej rezystancji. Intensywność pocenia się powoduje nasączenie zrogowaciałej warstwy naskórka elektrolitami zawartymi w pocie. Ma to wielki wpływ na zmiany parametrów fizycznych ciała, a szczególnie na jego impedancję elektryczną. Organizm ludzki i jego podatność na skutki działania prądu elektrycznego są zależne od wartości natężenia prądu uwarunkowanego napięciem elektrycznym i impedancją ciała w chwili rażenia. Pot może parować i pochłaniać ciepło z powierzchni ciała, jeżeli otaczające powietrze może pochłaniać parę wodną. Przy wysokiej wilgotności powietrza proces parowania potu słabnie, a ciało człowieka staje się mokre i bardziej podatne na skutki rażenia prądem elektrycznym [4].

Klimatyczne warunki pracy w środowisku górniczym określa bezwymiarowy wskaźnik dyskomfortu cieplnego  $\delta$ .

Dla  $\delta < 0$ , środowisko określa się jako chłodne, a  $\delta = 0$  oznacza komfort cieplny. Pracę w danym mikroklimacie określa się jako bezpieczną dla zdrowia dla:  $0 < \delta < 1$ , a dla  $\delta \geq 1$  oznacza pracę niebezpieczną dla zdrowia. Wraz ze wzrostem napięcia rażenia

i wskaźnika dyskomfortu cieplnego  $\delta$  impedancja ciała człowieka maleje, co powoduje wzrost podatności organizmu na skutki rażenia prądem elektrycznym. W klimacie ciepłym panującym w kopalniach jak również przy dużym wysiłku fizycznym występuje duże pocenie się, które powoduje obniżenie wartości impedancji ciała [4]. W takiej sytuacji konieczne jest stosowanie odpowiednich zabezpieczeń przeciwporażeniowych.

#### **14.4 ZABEZPIECZENIA PRZED SZKODLIWYM DZIAŁANIEM PRĄDU ELEKTRYCZNEGO W WYROBISKACH GÓRNICZYCH**

W warunkach górniczej eksploatacji złóż oprócz stosowania odpowiednio zabezpieczonych przez obudowy urządzeń elektroenergetycznych stosuje się system uziemiających przewodów ochronnych SUPO. Jest to środek ochrony przeciwporażeniowej przy dotyku pośrednim. SUPO stosuje się w sieciach nieziemionych prądu przemiennego do 10kV włącznie i częstotliwości do 500 Hz [7, 8]. Ochrona polega na połączeniu za pomocą przewodów ochronnych wszystkich części przewodzących dostępnych urządzeń elektroenergetycznych, znajdujących się w wyrobiskach, ze zbiorem uziomów kopalnianych. Uziomy kopalniane mogą występować jako uziomy w skale (w postaci pręta, płyty lub innego stalowego przedmiotu umieszczonego w skale) lub jako uziomy w wodzie (w postaci płyty, taśmy lub innego stalowego przedmiotu umieszczonego w miejscu, w którym stale występuje woda w takiej ilości, aby zastosowany uziom znajdował się pod jej powierzchnią). Uziomy centralne zakłada się w takich miejscach, które zapewniają najniższy opór uziomu np. w mokrych rzępiach szybowych, w zbiornikach głównego odwadniania. Uziomy lokalne można zakładać w ściekach kopalnianych. Jeżeli założenie uziomu w ścieku jest utrudnione można zakładać uziomy lokalne w skałach [2]. Wszystkie połączenia elementów SUPO wykonuje się w sposób trwały i zabezpiecza przed korozją. Przy stosowaniu systemu uziemiających przewodów ochronnych wszelkie metalowe osłony urządzeń elektrycznych oraz części metalowe innych, nieelektrycznych urządzeń znajdujących się w tym samym pomieszczeniu w odległości zasięgu ręki, powinny być uziemione przez niezawodne połączenie metaliczne z systemem [2]. System uziemiających przewodów ochronnych powinien być tworzony z elementów składowych:

- co najmniej dwóch uziomów centralnych,
- wszystkich istniejących uziomów lokalnych,
- przewodów ochronnych [7, 8].

Uziom centralny wykonywany jest jako uziom w wodzie, w rzępiu szybu lub w zbiorniku wodnym. Uziom centralny zaleca się wykonać ze stali nieocynkowanej o minimalnej wielkości dla:

- płyt – grubość 7 mm, długość 1000 mm, szerokość 500 mm,
- kształtowników – grubość 7 mm, długość 1500 mm,
- szyn jezdnych – długość 1500 mm [7].

Uziom lokalny powinien być instalowany przy rozdzielniach, przewoźnych stacjach transformatorowych oraz innych urządzeniach elektroenergetycznych

zasilanych bezpośrednio z kopalnianej sieci średniego napięcia. Uziom lokalny wykonuje się ze stali nieocynkowanej jako:

- uziom w wodzie zainstalowany w ścieku kopalnianym,
- uziom w skale, gdy w pobliżu nie ma ścieku.

Minimalne wymiary wyrobów metalowych stosowanych do wykonania uziomu lokalnego podano w tabeli 14.1. Rezystancja uziomu lokalnego powinna wynosić nie więcej niż 50 Ω. Przewody ochronne w sieciach średniego napięcia mogą być wykonane jako przewody ochronne wewnętrzne lub zewnętrzne, przy czym należy zachować poniższe zasady:

- wzdłuż kabli bez żył ochronnych należy prowadzić dodatkowe zewnętrzne przewody ochronne,
- wzdłuż kabli z żyłami ochronnymi dopuszcza się stosowanie dodatkowych przewodów ochronnych zewnętrznych,
- w przypadku prowadzenia kilku kabli bez żył ochronnych dopuszcza się stosowanie jednego wspólnego zewnętrznego przewodu ochronnego,
- w przypadku prowadzenia kilku kabli, z których jedne mają żyłę ochronną, a inne jej nie mają, można nie stosować zewnętrznego przewodu ochronnego pod warunkiem, że wszystkie zasilane nimi urządzenia będą podłączone do systemu [7, 8].

**Tabela 14.1 Minimalne wymiary wyrobów metalowych stosowanych do wykonania uziomu lokalnego**

Rodzaj wyrobu		Wymiary mm	
Uziom w skale	Pręty	Średnica lub najmniejszy wymiar przekroju poprzecznego	15
		Długość	1000
	Szyny	Długość	1000
Płyty		Grubość	5
		Szerokość	300
		Długość	500
Uziom w wodzie	Płyty	Grubość	5 na szerokość ścieku
		Szerokość	500
		Długość	500
	Szyny	jak dla uziomów w skale	
Inne wyroby		Grubość	5
		Długość	5000

Źródło: [7]

#### **14.5 BADANIE SKUTECZNOŚCI ZABEZPIECZEŃ W OBSZARZE WYBRANYCH ROZDZIELNI ŚREDNIEGO NAPIĘCIA**

W celu dopuszczenia uziemienia do eksploatacji wykonuje się kontrolne pomiary rezystancji systemu SUPO i ocenia skuteczność zabezpieczenia. Kontrolę ciągłości uziemiających przewodów ochronnych oraz pomiary rezystancji uziemienia systemu uziemiających przewodów ochronnych przeprowadza się zgodnie z Polską Normą PN-G-42041:1997 [7]. Wartość rezystancji uziemienia SUPO powinna spełniać nierówność:

$$R_{ws} \leq \frac{U_d}{I_z} \quad (14.4)$$

gdzie:

$R_{WS}$  – rezystancja uziemienia wypadkowego SUPO  $\Omega$ ,

$I_z$  – prąd ziemnozwarciowy sieci  $A$ ,

$U_d$  – dopuszczalna wartość napięcia dotykowego  $V$ .

Dopuszczalne wartości napięcia dotykowego zależne są od warunków środowiskowych (rzutuujących w znacznym stopniu na wartość rezystancji ciała człowieka) i dla podziemi kopalń przyjmowane są w zakresie 25-50  $V$  w sieciach średniego napięcia (tabela 14.2).

**Tabela 14.2 Dopuszczalne wartości napięcia dotykowego w zależności od najdłuższego trwania zwarcia doziemnego**

Czas trwania zwarcia doziemnego $s$	Dopuszczalna wartość napięcia dotykowego $V$
do 1,2	50
1,5	46
1,7	43
2,0	39
2,5	35
3,0	30
5,0 i więcej	25

Źródło: [7]

Przed przystąpieniem do pomiaru rezystancji uziemienia uziomu lub rezystancji uziemienia SUPO ocenia się, czy w danym punkcie pomiarowym po odłączeniu od złącza kontrolnego uziomu zewnętrznych przewodów ochronnych międzyuziomowych, możliwe jest wyodrębnienie fragmentów SUPO niepołączonych galwanicznie. Pomiar rezystancji uziemienia uziomu przeprowadza się po odłączeniu od złącza kontrolnego uziomu badanego przewodu uziomowego lub po odłączeniu wszystkich przewodów ochronnych. W przypadku, gdy odłączenie zewnętrznych przewodów ochronnych międzyuziomowych od złącza kontrolnego uziomu, przy którym wykonuje się pomiar, nie powoduje podziału SUPO na części niepołączone celowo ze sobą metalicznie, pomiar rezystancji uziemienia SUPO wykonuje się dwukrotnie umieszczając oba uziomy pomocnicze (prądowy i napięciowy) po tej samej stronie uziomu lecz za każdym razem w innych kierunkach. W przypadku, gdy w wyniku odłączenia zewnętrznych przewodów ochronnych międzyuziomowych od złącza kontrolnego uziomu wyniknie podział SUPO na elementy celowo niepołączone metalicznie wykonuje się pomiary:

- wypadkowych rezystancji uziemienia fragmentów SUPO nie połączonych celowo metalicznie, przyjmując jako zaciski pomiarowe odłączone od złącza kontrolnego uziomu przewody ochronne międzyuziomowe,
- rezystancji uziemienia uziomu przyjmując jako zacisk pomiarowy przewód uziomowy uziomu, a wartość rezystancji wypadkowej SUPO oblicza się ze wzoru [7]:



$$R_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{R_U} + \frac{1}{R_{z1}} + \frac{1}{R_{z2}}} \quad (14.5)$$

gdzie:

$R_{ws}$  – rezystancja uziemienia wypadkowego SUPO  $\Omega$ ,

$R_U$  – rezystancja uziemienia uziomu lokalnego  $\Omega$ ,

$R_{z1}, R_{z2}$  – rezystancja uziemienia fragmentów SUPO niepołączonych ze sobą celowo metalicznie  $\Omega$ .

Przedmiotem analizy systemu uziemiających przewodów ochronnych są układy połączeń sieci uziemiających wykonane przy rozdzielniach średniego napięcia 6 kV znajdujące się na poziomach eksploatacyjnych 500 m i 720 m KWK „Murcki-Staszic”. Do pomiarów wykorzystano mikroprocesorowy miernik MRU-101 przeznaczony do pomiarów rezystancji uziemień oraz rezystywności gruntu.

W tabeli 14.3 zestawiono wartości rezystancji uziomów dla poszczególnych punktów pomiarowych w danej rozdzielni, rezystancje wypadkowe  $R_{ws}$  oraz obliczone napięcia dotykowe, wynikające z wartości rezystancji wypadkowej  $R_{ws}$  i prądu ziemnozwarciowego sieci w danej rozdzielni. Napięcia dotykowe, które obliczono z zależności (4) należy porównać z dopuszczalnym napięciem dotykowym  $U_d$ . Dla wszystkich wykonanych pomiarów czas trwania prądu zwarcia wynosił 1,7 s.

**Tabela 14.3 Zestawienie pomiarów rezystancji uziomów w przykładowych rozdzielniach oraz obliczone dla nich napięcia dotykowe**

Rozdzielnia	Rozmieszczenie pomiarów uziomów	Rezystancja uziomów $\Omega$	$R_{ws}$ $\Omega$	Napięcie dotykowe V
RG-500 (prąd ziemnozwarciowy sieci $I_z = 136 A$ )	p.1: uziom w chodniku p.2: uziom lokalny p.3: uziom w studzienkach p.4: rozdzielnia 6kV p.5: transformator 1 p.6: transformator 2 p.7: silnik 1 p.8: silnik 2 p.9: silnik 3 p.10: silnik 4	0,5 24 0,4 0,12 0,12 0,12 0,12 0,12 0,12 0,12	0,12	16,32
RGt-500 (prąd ziemnozwarciowy sieci $I_z = 136 A$ )	p.1: uziom lokalny p.2: rozdzielnia 6kV p.3: transformator	24 0,11 38	0,11	14,96
R-720 (prąd ziemnozwarciowy sieci $I_z = 147 A$ )	p.1: uziom lokalny p.2: uziom lokalny p.3: uziom w studzienkach pompowni p.4: uziom lokalny	5,5 6,5 0,16 2,2	0,16	23,52
Ro-703 NO (prąd ziemnozwarciowy sieci $I_z = 136 A$ )	p.1: uziom lokalny p.2: rozdzielnia 6kV p.3: wyłącznik	6,7 0,15 0,15	0,15	20,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6]

Dopuszczalne napięcie dotykowe dla czasu trwania prądu zwarcia 1,7 s jest równe 43 V zgodnie z tabelą 14.3. Wszystkie obliczone, z wykonanych pomiarów, napięcia dotykowe

mieszczą się w wymaganej normie dopuszczalnego napięcia dotykowego  $U_d$  – poniżej 43 V, co świadczy o prawidłowym wykonaniu uziomów w badanych rozdzielniach. Wykonany w ten sposób badany system SUPO nadaje się do eksploatacji. Widoczne różnice wyników pomiarowych wynikają z wpływu warunków klimatycznych panujących w podziemiu kopalni na badanych poziomach eksploatacyjnych. Mają one znaczenie przy doborze lokalizacji wykonania uziomów, pomiarów uziemień w poszczególnych rozdzielniach jak i mają wpływ na skuteczność zabezpieczenia przed niebezpiecznym napięciem dotyku występującym na urządzeniach. Najważniejszymi czynnikami uwarunkowań klimatycznych w kopalni są temperatura i wilgotność. Im większa wartość wilgotności tym większa podatność organizmu ludzkiego na działanie prądu elektrycznego, ale w przypadku opisywanego zabezpieczenia przed dotykiem pośrednim, wilgotność sprzyja jego skuteczności.

W warunkach kopalnianych często zachodzi konieczność wykonania uziomu w suchym miejscu. Rezystancja takiego uziomu wykonana bez dodatkowych środków będzie znacznie wyższa. Duże znaczenie ma w tym przypadku sztuczne nawilgocenie podłoża. Z tych względów okresowo uziomy zalewa się wodą. Jednakże zaniedbanie regularnego nawilgotnienia uziomu, znajdującego się w suchym podłożu, prowadzi szybko w trakcie wysychania do wzrostu rezystancji. Lepsze wyniki dają uziomy, w których w otoczeniu podłoże zostało nasycone solami. Sole te nie powinny przy tym powodować nadmiernego przyspieszenia korozji materiału uziomu. Skuteczne zwiększanie przewodności podłoża, które utrzymuje się przez dłuższy czas, można uzyskać przez nasączenie go roztworem soli kuchennej. Sól kuchenna jest higroskopijna i nawet jej niewielki dodatek zmniejsza kilkakrotnie rezystywność wody [5].

#### 14.6 PODSUMOWANIE

Prawdopodobieństwo rażenia prądem elektrycznym pracowników zatrudnionych przy obsłudze maszyn i urządzeń elektrycznych w warunkach górniczych zależy od szeregu czynników takich jak:

- prawdopodobieństwo pojawienia się napięcia na obudowach maszyn i urządzeń,
- wartość występującego napięcia,
- rezystancja przejścia prądu do ziemi,
- czas trwania niebezpiecznego napięcia dotyku [5].

Z wyjątkiem ostatniego punktu, który zależy od czasu zadziałania urządzeń zabezpieczających, o pozostałych czynnikach decyduje w znacznym stopniu mikroklimat przestrzeni, w której znajdują się ewentualnie uszkodzone urządzenia. Ma to bowiem bezpośredni wpływ na skuteczność izolacji maszyn i urządzeń, a tym samym na wartość napięcia występującego przy uszkodzeniach na ich obudowach. Klimat występujący w podziemiach kopalni, gdzie znajduje się duża wilgotność i wysoka temperatura powodują niekorzystne warunki, które sprzyjają większej podatności organizmu człowieka na działanie prądu elektrycznego. Wysiłek fizyczny, który wywołuje proces pocenia się, zmniejsza impedancję wewnętrzną ciała ludzkiego, przez co wzrasta zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym pochodzącym od urządzeń i maszyn. W

takich warunkach najważniejszą rolę spełnia w kopalni system uziemiających przewodów ochronnych.

Z drugiej strony działanie warunków zewnętrznych występujących w podziemiu kopalni takich jak wilgotność, temperatura, nadmierne występowanie cieków wodnych mają bezpośredni wpływ na obniżenie rezystancji zainstalowanych uziomów w systemie uziemiających przewodów ochronnych. Zwiększa to ich właściwości przewodzące prąd elektryczny, a co za tym idzie wzrost skuteczności ochrony i poprawę bezpieczeństwa przed występowaniem na urządzeniach niebezpiecznego napięcia dotyku.

## LITERATURA

1. R. Buehl, A. Majka, J. Saferna, S. Sakiel, J. Strużyna „Porażenia i oparzenia prądem i łukiem elektrycznym. Etiologia i pomoc przedlekarska” Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 1993.
2. E. Czyż „Bezpieczeństwo i higiena pracy dla zasadniczych szkół górniczych” Wydawnictwo „Śląsk” Katowice 1974.
3. H. Gąsowski „Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach elektrycznych o napięciu do 1kV” Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 1997.
4. S. Gierlotka – „Klimatyczne warunki pracy w kopalniach węgla kamiennego i ich wpływ na możliwość rażenia prądem elektrycznym pracownika dołowego kopalni” – Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka nr 3/2002, Centralny Instytut Ochrony Pracy – PIB.
5. W. Gluziński „Elektryfikacja podziemi kopalń węgla”, wydanie 4 poprawione, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1985.
6. Materiały udostępnione przez Kopalnię Węgla Kamiennego „Murcki-Staszic” Katowickiego Holdingu Węglowego SA.
7. PN-G-42041:1997, „Środki ochronne i zabezpieczające w energetyce kopalnianej – System uziemiających przewodów ochronnych: Wymagania” Polski Komitet Normalizacyjny, grudzień 1997.
8. PN-G-42044:2000, „Środki ochronne i zabezpieczające w elektroenergetyce kopalnianej Zabezpieczenia ziemnozwarciowe: Wymagania i zasady doboru” Polski Komitet Normalizacyjny, kwiecień 2000.
9. J. Waclawik, J. Cygankiewicz, J. Knechtel „Warunki klimatyczne w kopalniach głębokich” Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN Kraków 1998.

*Data przesłania artykułu do Redakcji: 01.2016*  
*Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 03.2016*

dr inż. Jolanta Ignac-Nowicka  
Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania  
Instytut Inżynierii Produkcji  
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze, Polska  
e-mail: jolanta.ignac-nowicka@polsl.pl

## WPŁYW GÓRNICZYCH WARUNKÓW PRACY NA ZABEZPIECZENIA PRZECIWPORAŻENIOWE PRĄDEM

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono skutki działania prądu elektrycznego na organizm ludzki. Przeanalizowano zależność między parametrami specyficznych warunków pracy górniczej, a zagrożeniem w postaci porażenia prądem elektrycznym. Analizie poddano pracę zabezpieczeń w postaci systemu uziemiających przewodów ochronnych w wybranych rozdzielniach średniego napięcia w KWK Murcki-Staszic na poziomach eksploatacyjnych 500 i 720 m. Przeanalizowano wykonane pomiary rezystancji uziomów w okolicach wybranych rozdzielni oraz określono wielkości rzeczywistego napięcia dotykowego i porównano je z dopuszczalnym napięciem dotykowym.

**Słowa kluczowe:** impedancja ciała ludzkiego, porażenie prądem elektrycznym, dopuszczalne napięcie dotykowe, rezystancja uziomu, zabezpieczenie przeciwporażeń, system uziemiających przewodów ochronnych

## THE INFLUENCE OF MINING WORKING CONDITIONS ON PROTECTIONS AGAINST ELECTRIC SHOCK

**Abstract:** The article presents the effects of electric current on the human body. The article analyzes the relationship between the parameters of the specific working conditions of mining, and the threat of electric shock. Analyzed the work of security in the form of a system of grounding protective conductors in the selected medium voltage switching stations in KWK Murcki-Staszic (exploitation levels on the 500 and 720 m). Analyzed the measurements of earth electrodes resistance in the area of selected switching stations and specified the actual touch voltage and compared with permissible touch voltage.

**Key words:** impedance of the human body, electric shock, permissible touch voltage, earth electrode resistance, protection against electric shock, earthing system of protective conductor