

Florian Krasucki  
Katedra Elektryfikacji Kopalń

## OPÓR IZOLACJI KABLI I PRZEWODÓW GÓRNICZYCH

**Streszczenie:** Omówiono znaczenie oporu izolacji kabli, przewodów półgiętkich i przewodów oponowych dla bezpieczeństwa i ciągłości pracy współczesnej kopalni. Przeprowadzono krytyczną analizę możliwości i zakresu obliczeniowego i pomiarowego sposobu określania oporu izolacji przewodów górniczych z uwzględnieniem wpływu obciążenia. Podano wyniki pomiarów wartości i zmienności z temperaturą oporu izolacji prototypowych odcinków przewodów oponowych i porównano wymagania normatywne.

### 1. Wstęp

Wypadkowy stan izolacji elektroenergetycznych sieci górniczych, zależny w dużej mierze od kabli i przewodów, ma zasadniczy wpływ na bezpieczeństwo elektryfikacji kopalń bezpiecznych i gazowych. Opór (rezystancja) izolacji, obok pojemności doziemnej, jest podstawowym kryterium bezpieczeństwa rażenia [1]. Znalazło to wyraz w postanowieniach przepisów PNE 05050, które wymagają stosowania urządzeń kontroli wypadkowej wartości oporu izolacji doziemnej w sieciach niskiego napięcia. Podobną rolę spełniają zabezpieczenia ziemnozwarciowe przewidziane dla kontroli asymetrii oporu izolacji doziemnej sieci 6000 V. Stosowanie tych urządzeń przyczynia się jednocześnie do znacznego zmniejszenia prawdopodobieństwa powstania pożarów i wybuchów z przyczyn elektrycznych [2].

Środki te spełniają swoje zadanie tylko w przypadku gdy powodują odłączenie zabezpieczanej sieci (odcinka) od źródła prądu, bez zbędnej zwłoki czasowej. Tak więc od wartości oporu izolacji sieci i urządzeń zależy bezpośrednio także ciągłość dostawy energii elektrycznej w podziemiach kopalń. Zna-

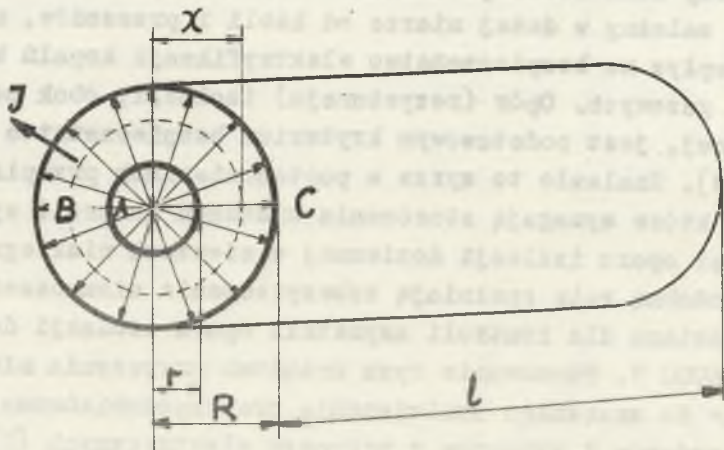
W rzeczywistości wartości oporu izolacji kabli i przewodów oraz wpływu na nie rodzaju konstrukcji, zastosowanych materiałów i warunków eksploatacji może ułatwić przyjęcie i wdrożenie zamierzeń zwiększających bezpieczeństwo i niezawodność stosowania środków elektryfikacji i automatyzacji kopalń.

## 2. Obliczanie oporu izolacji

Prąd upływu przez izolację przewodu elektroenergetycznego zależy jest od wartości napięcia i przewodności będącej wynikiem niedoskonałości dielektryka. Przewodność dla napięcia przemiennego określona jest znaną zależnością:

$$G = G_1 + G_c = \frac{1}{R_1} + \omega C \operatorname{tg} \delta$$

Przewodność czynna izolacji  $G_1$  określana jest jako odwrotność oporu izolacji  $R_1$  przy przepływie prądu stałego, podobnie jak to ma miejsce w urządzeniach kontroli stanu izolacji typu UKSI/UKSIO.



Rys. 1. Rozkład pola i prądu upływu w jednożyłowym przewodzie ekranowanym

A - żyła przewodząca, B - izolacja, C - powłoka przewodząca

Rozpatrzmy prąd upływu w przewodzie jednożyłowym izolowanym w postaci walca o długości  $l$ , posiadającym żyłę A o promieniu  $r$  oraz powłokę przewodzącą (ekran) C nałożoną na izolację B o promieniu  $R$  - rys. 1. Zakładamy promieniowy rozkład linii sił i linii prądu upływu w izolacji B. Wynika to z twierdzenia o załamaniu linii sił na granicy dwóch środowisk "przewodzących" w polu elektrycznym prądu stałego: stosunek tangusów kątów równy jest stosunkowi konduktywności materiałów graniczących. Można więc pominąć wewnętrzne spadki napięć w żyłce oraz w ekranie i traktować je jako powierzchnie równego potencjału.

Gęstość  $J$  prądu upływu  $I$  i natężenie pola  $E$  w izolacji o konduktywności  $\gamma$ , w dowolnej powierzchni walcowej o promieniu  $x > r$  wynosi:

$$J = \frac{I}{2\pi x l} \quad E = \frac{J}{\gamma} = \frac{I}{2\pi \gamma x l}$$

Napięcie między powierzchniami równego potencjału A i C obliczymy jako całkę liniową wzdłuż linii pola

$$U_{AC} = V_A - V_C = \int_r^R E dx = \int_r^R \frac{I}{2\pi \gamma l} \frac{dx}{x} = \frac{I}{2\pi l \gamma} \ln \frac{R}{r}$$

Stąd obliczamy przewodność  $G_1$ , a po zastąpieniu konduktywności  $\gamma$  rezystywnością  $\rho$ , i opór izolacji  $R_1$  przewodu:

$$G_1 = \frac{I}{U_{AC}} = \frac{2\pi l \gamma}{\ln \frac{R}{r}}, \quad (1a)$$

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{R}{r}$$

lub

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln g \quad (1b)$$

Zależności powyższe są słuszne tylko dla jednej żyły kabli i przewodów z żyłami o izolacji jednorodnej, indywidualnie ekranowanymi, bądź też dla jednożyłowych przewodów nie ekranowanych umieszczonych w ośrodku przewodzącym.

W przypadku izolacji warstwowej przewodu ekranowanego złożonej z  $n$  różnych dielektryków zależność dla oporu izolacji przyjmuje postać:

$$R_1 = \frac{\epsilon_1}{2\pi l} \ln \frac{r_1}{r} + \frac{\epsilon_2}{2\pi l} \ln \frac{r_2}{r_1} + \dots + \frac{\epsilon_n}{2\pi l} \ln \frac{R}{r_{n-1}} \quad (2)$$

Obliczanie oporu izolacji kabli i przewodów wielożyłowych nie ekranowanych jest bardziej skomplikowane i pracochłonne, zależnie od budowy, liczby i układu żył oraz układu izolacyjnego. Można wykorzystać w tym celu analogię pomiędzy polem elektrycznym prądu stałego w ośrodku przewodzącym a polem elektrostatycznym w dielektryku.

Jak wiadomo pole elektrostatyczne charakteryzują następujące zależności [3]:

$$\begin{aligned} \text{rot } E &= D, & \int_A^C E \, dr &= V_A - V_C, & D &= \epsilon E \\ \text{div } D &= 0, & \int_S D \, ds &= Q \end{aligned}$$

Natomiast pole elektryczne prądu stałego w przewodzie można scharakteryzować podobnie z tym, że wektor indukcji elektrycznej  $D$  należy zastąpić wektorem gęstości prądu  $J$ , ładunek elektryczny  $Q$  natężeniem prądu  $I$ , a przenikalność elektryczną  $\epsilon$  przewodnością właściwą  $\}$ . Dla obliczania oporu izolacji kabla lub przewodu wielożyłowego można po prostych przekształceniach zastosować podawane w literaturze [4, 5, 6] wzory określające pojemność kabli, bądź też wyprowadzić je stosując podaną przez Kelvina metodę odbić elektrycznych [4], względem powierzchni przewodzących jako powierzchni ekwipotencjalnej. Można założyć, że praktycznie powierzchnie takie istnieją we wszystkich kablach i przewodach górniczych: powłoki metalowe,

opancerzenie, przewodzący ekran ogólny względnie ziemia w przewodach oponowych, w których skręt żył odgrywa podobną rolę jak przeplatanie w liniach napowietrznych.

W przypadku na przykład kabli trójżyłowych o izolacji jednorodnej współczynnik geometryczny  $g$ , umożliwiający określenie wartości oporu izolacji przy pomocy wzoru (1b), oblicza się następująco:

- między żyłami

$$g = \frac{3a^2}{x^2} \frac{(R^2 - a^2)^3}{R^6 - a^6} \quad (3a)$$

- trzy żyły względem powłoki

$$g = \frac{R^6 - a^6}{3x a^5} \quad (3b)$$

- jedna żyła względem pozostałych i powłoki

$$g = \frac{2}{3} \frac{\frac{(R^2 - a^2)^3}{xa}}{\frac{R^6 - a^6}{3x a^5} + \frac{3a^2(R^2 - a^2)^2}{x^2(R^6 - a^6)}} \quad (3c)$$

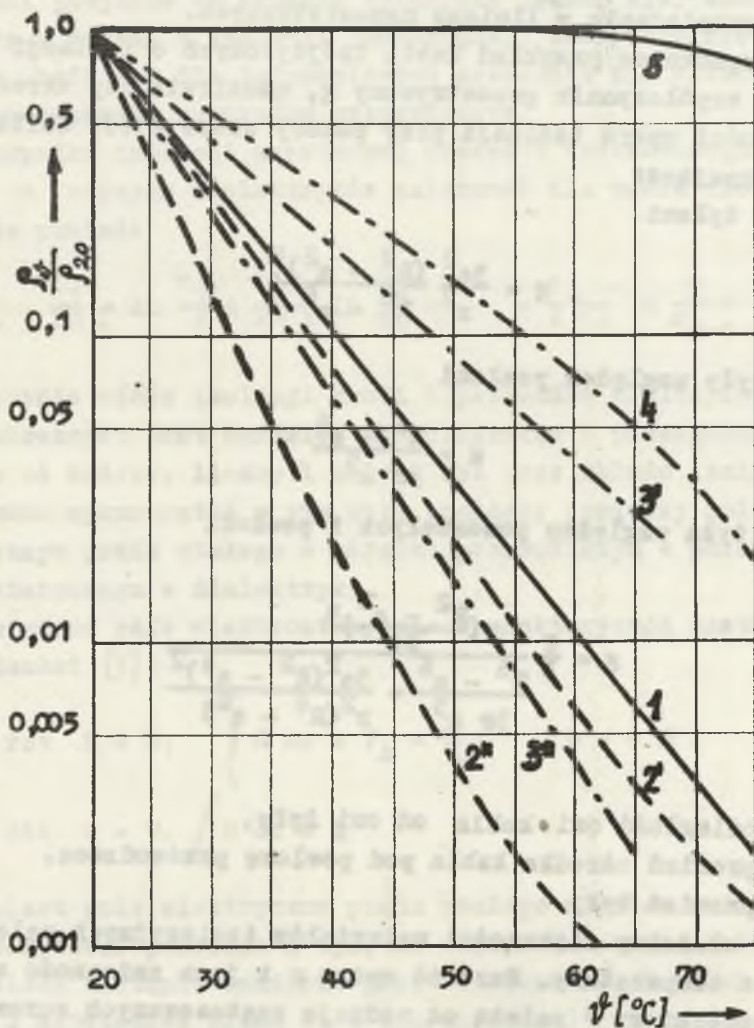
gdzie:

$a$  - odległość osi kabla od osi żyły,

$R$  - promień ośrodka kabla pod powłokę przewodzącą,

$x$  - promień żyły.

Opór właściwy większości materiałów izolacyjnych maleje ze wzrostem temperatury. Wartość oporu  $\rho$  i jego zmienność w funkcji temperatury  $\vartheta$  zależą od rodzaju zastosowanych surowców oraz receptury i technologii wykonania. Na rys. 2 przedstawiono przykładowo charakter i praktyczny zakres zmienności  $\rho$  z temperaturą oporu  $R_1$  typowych materiałów izolacyjnych stosowanych w kablach i przewodach górniczych [7]. Można założyć, z dostateczną dla praktycznych obliczeń dokładnością, że w zakresie temperatur roboczych i w podanej na rys. 2 skali jest to prze-



Rys. 2. Zmiana względnej rezystywności izolacyjnych materiałów kablowych w funkcji temperatury

- 1 - papier kablowy, polietylen sieciowany chemicznie, hypalon,  
 2 - polwinit suspensyjny, 3 - guma izolacyjna wulkanizowana,  
 4 - guma z kauczuku butylowego, papier kablowy, 5 - polietylen

bieg prostoliniowy. Możemy więc napisać zależność na zmianę oporu izolacji przy nagrzewaniu się przewodu:

$$\frac{\rho_{\nu}}{\rho_0} = e^{-b(\nu - \nu_0)} \quad (4a)$$

$$\frac{R_{1\nu}}{R_{1\nu_0}} = e^{-b(\nu - \nu_0)} \quad (4b)$$

gdzie:

- $\rho_{\nu}, R_{1\nu}$  - opór izolacji w temperaturze  $\nu$ ,
- $\rho_0, R_{1\nu_0}$  - opór izolacji w temperaturze początkowej  $\nu_0$ ,
- $b$  - współczynnik kierunkowy, zależny od rodzaju i składu chemicznego materiału izolacyjnego.

W praktyce jednostkowy opór izolacji kabli i przewodów określany jest w megaomach dla odcinka o długości  $l = 1$  km, a rezystywność normatywna podawana jest w temperaturze  $\nu_0 = 20^{\circ}\text{C}$ . Uwzględniając jednocześnie zależność (4), wzór (1) po prostych przekształceniach przyjmuje postać:

$$R_{\nu} \approx 3,67 \cdot 10^{-10} \rho_{20} e^{-b(\nu - 20)} \log \frac{R}{r} \quad (5a)$$

lub

$$R_{\nu} = \frac{\rho_{20}}{2\pi} 10^{-9} e^{-b(\nu - 20)} \ln g \quad (5b)$$

gdzie:

- $R_{\nu}$  - jednostkowy opór izolacji w temperaturze  $\nu$ ,  $\text{M}\Omega \text{ km}$
- $\rho_{20}$  - opór właściwy skrośny w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $\Omega \text{ m}$
- $\nu$  - temperatura obliczeniowa,  $^{\circ}\text{C}$
- $b$  - współczynnik charakteryzujący zmianę oporu izolacji ze zmianą temperatury.

Rzeczywiste wartości rezystywności skrośnej  $\rho_{20}$  i współczynnika  $b$  dla danego rodzaju izolacji są różne, przede wszystkim w zależności od kraju i producenta. Praktycznie otrzymane wartości w zakresie temperatur roboczych mieszczą się w następujących granicach

guma izolacyjna:  $\rho_{20} = 10^{10} - 10^{13} \Omega \text{ m}$ ,  $b = 0,06 - 0,138$   
 polwinit:  $\rho_{20} = 2 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^{12} \Omega \text{ m}$ ,  $b = 0,13 - 0,202$   
 papier nasycony:  $\rho_{20} = 10^{13} \Omega \text{ m}$ ,  $b = 0,06 - 0,113$ .

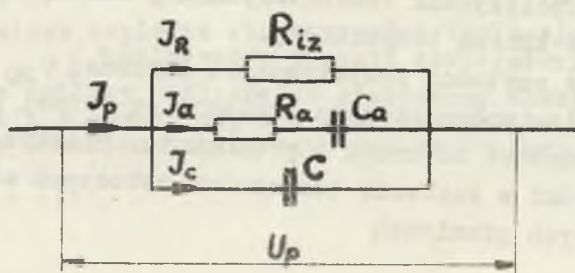
W obliczeniach oporu izolacji przewodu obciążonego należałoby uwzględnić również rozkład pola temperaturowego, a więc różne wartości  $\rho$  poszczególnych warstw izolacyjnych od żyły do zewnętrznej powłoki przewodzącej.

Obliczanie faktycznego oporu izolacji, szczególnie kabli i przewodów wielożyłowych nie ekranowanych, jest bardzo pracochłonne a w wielu przypadkach wręcz niemożliwe. Powodem jest przede wszystkim nieznaną wartość faktycznej rezystywności skrośnej zastosowanych w danym przewodzie materiałów izolacyjnych oraz takie czynniki jak: złożony układ geometryczny i tolerancje wymiarów, kształt żył, warstwowość dielektryka i różnice temperatur.

Dlatego też praktycznie metoda ta powinna być stosowana na etapie założeń konstrukcyjnych do ustalenia minimalnych wartości oporu izolacji pojedynczych żył projektowanego przewodu oraz do obliczania orientacyjnych wartości oporu izolacji wyprodukowanych przewodów sprawdzanych metodą pomiarową.

### 3. Pomiar oporu izolacji

Opór dielektryka stałego określa się przez pomiar wartości prądu skrośnego przy napięciu stałym. Z chwilą włączenia napięcia następuje polaryzacja dielektryka: polaryzacja deformacji (sprężysta), dająca obciążenie bierne i polaryzacja orientacji deformacji, dająca dodatkowe obciążenie czynne.



Rys. 3. Schemat zastępczy i prądy składowe w izolacji



Tak więc po włączeniu układu izolacyjnego na pomiarowe napięcie stałe  $U_p$  mierzymy prąd wypadkowy  $I_p$ , jako sumę prądów składowych (rys. 3): przewodzenia  $I_R$ , ładowania  $I_C$  i absorpcji  $I_a$ .

Prąd ładowania zanika po stosunkowo krótkim czasie. Natomiast krzywa  $I_a = f(t)$  chociaż ma charakter również opadający, to jednak czas zanikania może być bardzo długi. Wpływ mają głównie następujące czynniki: zawilgocenie i zanieczyszczenia, temperatura, rodzaj i jednorodność izolacji oraz wartość napięcia pomiarowego. Prąd absorpcji jest proporcjonalny do napięcia, przy czym przyrost prądu wynikający z danego przyrostu napięcia doprowadzonego nie zależy od wartości napięcia doprowadzonego poprzednio [8].

Wartość napięcia pomiarowego, czas pomiaru (odczytu) i odpowiednie przygotowanie końców (dla ograniczenia udziału prądu powierzchniowego) mają główny wpływ na prawdziwość pomiaru oporu izolacji kabli i przewodów. Wymagania w tym zakresie ustalone są odpowiednimi normami. I tak na przykład zgodnie z PN-63/E-04161 odczytu należy dokonywać po 1 min. od chwili przyłożenia napięcia stałego o wartości 100-500 V. W Anglii wymagana wartość napięcia przez 1 min wynosi  $\geq 500$  V, natomiast we Francji 300 V i odczyt po 5 minutach.

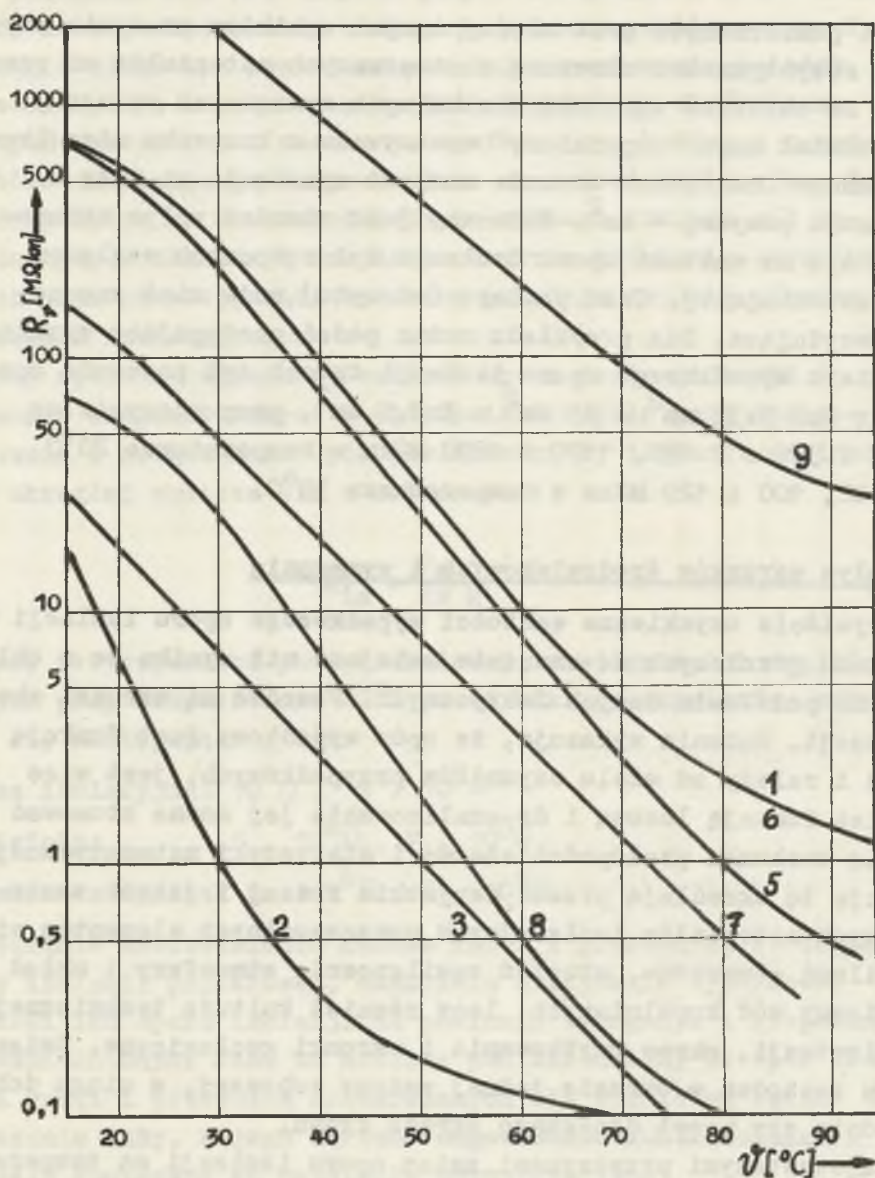
W tablicy 1 i na rys. 4 podano przykładowo wyniki pomiarów [9] oporu izolacji prototypowych odcinków przewodów górniczych o nowej konstrukcji, wyprodukowanych przez Krakowską Fabrykę Kabli. Wszystkie przewody ekranowane posiadały ekrany przewodzące na izolacji każdej żyły roboczej oraz na żyłach ochronnych. Pomiaru wykonywano megaomcierniem lampowym t. R505-Elpo (napięcie pomiarowe: - 150 V) w temperaturze otoczenia oraz po nagraniu przewodów prądem przemiennym o regulowanej wartości natężenia. Pomiar temperatury wykonywano metodą pośrednią przez pomiar przyrostu oporu żył oraz bezpośrednio termoelementami miedź - konstantan. Zmienność oporu izolacji, trzech żył względem czwartej połączonej z ekranami, w funkcji temperatury żył badanych przewodów charakteryzują krzywe wykreślone na rys. 4, a w zakresie temperatur 30-60°C

Tablica 1

Jednostkowy opór izolacji jednej żyły  
badanych przewodów oponowych i półgiętkiego

Lp.	Rodzaj przewodu	R <sub>20</sub> , MΩkm		b
		z obliczeń z pomiaru		
1	OnG 5x4 mm <sup>2</sup> , 1 kV	10	2200	0,09
2	OnGek 5x4 mm <sup>2</sup> , 1kV z przekładką cen- tralną	10	22	
3	OnGek 5x4 mm <sup>2</sup> , 1 kV z wkładem okrągłym	10	60	0,95
4	OnG 3x35 mm <sup>2</sup> + 25 mm <sup>2</sup> + 3 x 25 mm <sup>2</sup> , 1 kV-o zmienionym układzie żył pomocniczych	63	3500	0,0615
5	OnGek 3x35 mm <sup>2</sup> + + 25 mm <sup>2</sup> + 3x2,25 mm <sup>2</sup> , 1kV	6,5	1700	0,115
6	OnGek 3x50 mm <sup>2</sup> + + 35 mm <sup>2</sup> , 1 kV	56	1900	0,11
7	OnGek 3x50 mm <sup>2</sup> + + 35 mm <sup>2</sup> + 6x2,5 mm <sup>2</sup> , 1 kV	5,5	380	0,095
8	OnGekżFpy 3x70 mm <sup>2</sup> + + 3x16 mm <sup>2</sup> , 1 kV	4,3	170	0,134
9	OnGbekż/w 3x25 mm <sup>2</sup> + + 18 mm <sup>2</sup> + 28 mm <sup>2</sup> , 6 kV	110	3500	0,075

również współczynnik b podany w tablicy 1. Tablica zawiera również opór izolacji obliczony zgodnie ze wzorem (5a) na podstawie wyników sprawdzenia budowy. Opór właściwy skrośny przyjęto zgodnie z projektem zmian normy PN-61/E-29100:10<sup>11</sup>Ωm dla gumy GI2 oraz 10<sup>12</sup>Ωm dla gum GI3 i GI4. Analizując otrzymane wyniki można dojść do wniosku, że rozbieżność wartości obliczo-



Rys. 4. Jednostkowy opór izolacji trzech żył względem ochronnej i powłok przewodzących w funkcji temperatury żył badanych przewodów górniczych

1 - OnG 5x4 mm<sup>2</sup>, 2 1 3 - OnGek 5x4 mm<sup>2</sup>, 5 - OnGek 3x35mm<sup>2</sup> + 25 mm<sup>2</sup> + 3 x 2,5 mm<sup>2</sup>, 6 - OnGek 3x50 mm<sup>2</sup> + 35 mm<sup>2</sup>, 7 - OnGek 3 x 50 mm<sup>2</sup> + 35 mm<sup>2</sup> + 6 x 2,5 mm<sup>2</sup>, 8 - OnGekżFpy 3 x 70 mm<sup>2</sup> + 3 x 16 mm<sup>2</sup>, 9 - OnGbekż/w 3 x 25 mm<sup>2</sup> + 18 mm<sup>2</sup> + 28 mm<sup>2</sup>

nych i pomierzonych jest między innymi wynikiem znacznie większej rezystywności skrośnej zastosowanych materiałów od przyjętej do obliczeń wartości minimalnych wymaganych wg normy. Duży udział mają "seperatory" wykonywane z kauczuku niewulkanizowanego nakładane obecnie zamiast cynowania na żyły o przekroju powyżej  $4 \text{ mm}^2$ . Widoczny jest również wpływ ekranowania żył na wartość oporu izolacji żył roboczych względem żyły uziemiającej. Czas pomiaru (odczytu) może mieć znaczenie decydujące. Dla przykładu można podać następujące wyniki, z pomiaru wypadkowego oporu izolacji trzech żył przewodu opornego OnG  $3 \times 35 \text{ mm}^2 + 25 \text{ mm}^2 + 3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ , przy odczycie po 15,60 i 300 s : 497, 1170 i 1890 M $\Omega$ km w temperaturze  $20^\circ\text{C}$  oraz 82, 100 i 129 M $\Omega$ km w temperaturze  $55^\circ\text{C}$ .

#### 4. Wpływ warunków środowiskowych i wymagania

Rzeczywiście uzyskiwane wartości wypadkowego oporu izolacji w sieciach górniczych są znacznie mniejsze niż wynika to z obliczeń na podstawie danych fabrycznych. Powodem są warunki eksploatacji. Badania wykazują, że opór wypadkowy jest funkcją czasu i zależy od wielu czynników przypadkowych, jest więc również funkcją losową i do analizowania jej można stosować teorię rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. Funkcję tę określają przede wszystkim rodzaj i jakość zastosowanych materiałów izolacyjnych poszczególnych elementów sieci, ilość elementów, stopień zawilgocenia atmosfery i skład chemiczny wód kopalnianych, lecz również kultura technicznej eksploatacji, okres użytkowania i warunki geologiczne. Zmiany oporu zachodzą w okresie jednej roboczej, w ciągu doby, tygodnia czy nawet dłuższego okresu czasu.

Najczęstszymi przyczynami zmian oporu izolacji są temperatura, wilgoć i zapylenie oraz sposób eksploatacji. Temperatura wywołana długotrwałym lub chwilowym przeciążeniem powoduje zmiany właściwości fizycznych materiałów izolacyjnych oraz przyspiesza wnikanie wilgoci. Cząsteczki pary wodnej zawartej w atmosferze mogą przenikać w warstwę izolacji bądź kondensować się na jej powierzchni. W stanie roboczym izolacja sieci

może podsuszać się pod wpływem prądu obciążenia i strat w izolacji, lecz po wyłączeniu następuje ponowne zawilgocenie. Pył węglowy w wilgotnym powietrzu powoduje powstawanie ścieżek przewodzących w zakończeniach. Woda kopalniana choćby sama nie była zakwaszona i zasolona, zawiera jony kwaśne i zasadowe które oddziałują destrukcyjnie na części izolacyjne. Zasadniczy wpływ ma również działanie różnego rodzaju sił mechanicznych - ułatwiają one destrukcyjne działanie czynnikom wymienionym powyżej, bądź też same powodują szybkie niszczenie układu izolacyjnego.

Duży wpływ na wypadkową wartość oporu izolacji kabli i przewodów eksploatowanych w podziemiach kopalń mają ich zakończenia i połączenia. Opór powierzchniowy izolacji odcinka żyły okrągłej oblicza się z zależności:

$$R_{is} = \frac{\rho_s l}{2\pi R} \quad (6)$$

Wartość rezystywności powierzchniowej, w wilgotności względnej 98% przy temperaturze 20°C przed oraz po zapyleniu, przyjmuje się następująco [10]:

- guma izolacyjna:  $10^8 \Omega$ ,  $5 \cdot 10^5 \Omega$
- polwinit:  $5 \cdot 10^6 \Omega$ ,  $7 \cdot 10^5 \Omega$
- laminat z żywicą:  $5 \cdot 10^6 \Omega$ ,  $8 \cdot 10^5 \Omega$

Odpowiednie uszczelnienie końców kabli i przewodów, szczególnie w izolacji papierowej, umożliwia utrzymanie wypadkowej wartości ich oporu izolacji na poziomie wymaganym i gospodarczo uzasadnionym. Jest to możliwe pod warunkiem, że opór izolacji kabli i przewodów dostarczanych dla górnictwa będzie dostatecznie duży, a jego wartość odpowiednio kontrolowana. W tym celu konieczne są ustalenia normalizacyjne.

W Polsce wartość oporu izolacji normalizowana jest tylko dla niektórych kabli do 1 kV [11]. Tak na przykład opór izolacji żyły względem pozostałych żył i części metalowych w temperaturze 20°C wynosi co najmniej 100 M $\Omega$ km dla kabli elektroenergetycznych i sygnalizacyjnych o izolacji gumowej lub pa-

Tablica 2

Najmniejszy dopuszczalny opór izolacji w  $M\Omega km$   
jednej żyły względem pozostałych i powłok przewodzących  
lub wody, w temperaturze  $20^{\circ}C$

Norma i rodzaj kabla lub przewodu	Przekrój żyły, $mm^2$					
	2,5	6	10	25	50	95
PN-62/E 90009 Kabel o izolacji gumowej 1 kV	500	300	275	240	200	180
NCB 188/1962 Przewód oponowy 1100 V	-	-	1100	820	690	640
NCB 504/1966 Przewód półgłębki 1100 V	-	290	270	230	200	180
" " 3300 V	-	-	-	1190	910	680
NCB 295/1962 Kabel o izolacji PCW 1100 V	14	12	12	9	8	6
Kabel o izolacji PCW 3300 V	-	24	21	14	14	8
PNE 90300 Kabel o izolacji PCW, 1 kV	95	75	60	45	40	30

pierowej. Bardziej szczegółowo normalizowany jest opór izolacji kabli w polwinicie (PNE90300) i kabli okrętowych o izolacji gumowej (PN-62/E-90009). Wartości te dla wybranych przekrojów podano przykładowo w tablicy 2. W Angli kable i przewody górnicze produkowane są zgodnie z wymaganiami norm branżowych National Coal Board - NCB Specification, które określają szczegółowo wymaganą wartość oporu izolacji. Przykłady wymagań podano w tablicy 2. Podobnie we Francji budowa i wymagania określone są w normach branżowych Charbonnages de France (SNH 263, SNH 265, SNH 266). Wymagany opór jednej żyły określony jest wzorem:

$$R_1 = K \log \frac{R}{r} (M\Omega km), \text{ w którym } k = 3000 \text{ w temperaturze } 20^{\circ}C$$

oraz  $K = 4$  w temperaturze  $75^{\circ}C$ .

### 5. Uwagi i wnioski końcowe

Warunki środowiskowe podziemi kopalń, a przede wszystkim duże prawdopodobieństwo mechanicznych uszkodzeń, wilgotność i zapylenie zmniejszają wartość oporu izolacji. W wyniku następuje zadziałanie urządzeń urządzeń kontrolno-ochronnych i wyłączenie zasilania elektrycznego. Powoduje to naruszenie rytmu pracy oddziałów wydobywczych i duże straty gospodarcze, zwłaszcza w kopalniach o skoncentrowanym wydobyciu. Działanie zmierzające do zwiększenia oporu izolacji sieci dołowych zapewnia więc wzrost bezpieczeństwa i wydajności pracy w kopalni.

Należy przyjąć, że istnieje uzasadniona potrzeba opracowania normy branżowej dla kabli i przewodów górniczych. Jednym z podstawowych ustaleń normatywnych powinny być minimalne dopuszczalne wartości oporu izolacji oraz ich zmienność w funkcji temperatury.

Dotychczasowe wymagania dla przewodów oponowych, obejmujące tylko minimalną wartość rezystywności skrośnej i grubość izolacji są niewystarczające i zaniżone. Wynikiem jest bardzo duża rozbieżność wartości oporu poszczególnych odcinków tego samego rodzaju przewodu.

Jednocześnie konieczne jest podjęcie bardziej szczegółowych badań nad ustaleniem metodyki sprawdzania normatywnych wartości oporu izolacji, określeniem współczynników absorpcji, oraz wpływem roboczego napięcia przemiennego na wartość czynnego prądu upływu przez izolację kabli i przewodów górniczych.

### LITERATURA

- [1] Krasucki F.: Stan izolacji elektrycznej sieci kopalnianej jako kryterium bezpieczeństwa rażenia prądem. Przegląd Górniczy, 1968 r, nr 2.
- [2] Krasucki F.: Zwarcie doziemne w sieciach górniczych z izolowanym punktem gwiazdowym. Zesz.Nauk.Polit.Śl. nr 217, Górnictwo, 1968 r, z. 28.

- [3] Kałantarow P.L., Niejman Ł.R.: Teoreticzeskije osnovy elektrotiechniki, GEI, 1951 r.
- [4] Staniewicz L.: Teoria prądów zmiennych. "Czytelnik", 1951 r.
- [5] Baczelis D.S., Bielorusow N.I., Saakian A.Je.: Elektri-czeskije kabieli,rowoda i sznury. GEI, 1963 r.
- [6] Prwiezienczew W.A., Linkow A.W.: Kabieli i rowoda, tom I, Osnowy tieorii, rasczot i konstruirowanije. GEI 1959 .
- [7] Krasucki F.: Elektroenergetyczne kable o izolacji i powłokach z polwinitu- właściwości, budowa i stosowanie w górnictwie. Referat na posiedzeniu Komisji Elektryfikacji Kopalń Gazowych MGiE, Katowice 18.4.1969 r.
- [8] Pluciński M., Szadkowska T.: Badanie warstwowych materia-łów izolacyjnych prądem stałym. Przegląd Elektrotechniczny, 1967, nr 10.
- [9] ZKMPW: Kable i przewody górnicze. Studia i badania labo-ratoryjne. Prace nr EB-37/NB, 1967-1969 r.
- [10] Sobolew W.G.: Opriedielenije powierzchniowego soprotiw-lenia izolacji w koncowych zadzielkach szachtnych ka-bielej, Gornyje masziny i awtomatika, CNIEI- Ugol, wyp. 4, 1968.
- [11] Kołodziejczyk Z.: Znormalizowane kable i przewody elek-troenergetyczne, WN Warszawa, 1964.