

Florian KRASUCKI

Andrzej CHOLEWA

BADANIA STRUKTURY DOZIEMIEŃ W KOPALNIANYCH SIECIACH  
ELEKTROENERGETYCZNYCH 6 kV

**Streszczenie.** Dokonano oceny aktualnego stanu ochrony ziemnozwarciowej w kopalnianych sieciach 6 kV i uzasadniono celowość statystycznych badań doziemień w sieciach rzeczywistych. Przedstawiono sposób i przyrząd do rejestracji liczby i czasu trwania doziemień. Scharakteryzowano sieci, w których przeprowadzono dotychczasowe badania oraz omówiono wyniki tych badań.

### 1. Uwagi wstępne

Kopalniane wysokonapięciowe sieci elektroenergetyczne pracują z izolowanym punktem zerowym lub, w nielicznych tylko przypadkach, z kompensacją ziemnozwarciową. Jednym z ważniejszych i wciąż aktualnych problemów w eksploatacji takich sieci jest spełniająca odpowiednie wymagania ochrona przed skutkami jednofazowych zwarć z ziemią. Staje się to zrozumiałe, jeżeli wziąć pod uwagę zagrożenia, jakie doziemienia powodują w warunkach środowiskowych podziemi kopalń [5]. Jednak oceniając aktualny stan ochrony ziemnozwarciowej w sieciach kopalnianych, należy uznać go za niezadowalający.

W wielu kopalniach sieci są wyposażone w przekaźniki ziemnozwarciowe, lecz instalowane często w sposób przypadkowy, zarówno jeżeli chodzi o dobór miejsca w układzie elektroenergetycznym kopalni, jak i dobór rodzaju (typu). Zawodność w działaniu zabezpieczeń ziemnozwarciowych wynika z nieodpowiedniej konstrukcji zastosowanych przekaźników (np. niewłaściwa charakterystyka przekaźnika, wrażliwość na stany przejściowe przy doziemieniu) lub, co jest równie częste jak niewłaściwy dobór, z niewłaściwej eksploatacji. Sytuacja podobna do wyżej opisanej jest charakterystyczna nie tylko dla sieci kopalnianych, lecz sieci przemysłowych w ogóle, a także dla sieci średnich napięć energetyki zawodowej [7].

Konieczność stosowania zabezpieczeń ziemnozwarciowych zarówno w przypadku sieci kopalń metanowych jak i niemetanowych wynika z warunków bezpieczeństwa [5]. Z drugiej jednak strony wyposażenie sieci w liczne zabezpieczenia ziemnozwarciowe, o względnie małej niezawodności działania, sprawia w eksploatacji wiele kłopotów. Prowadzić bowiem może do niepotrzebnego naruszania ciągłości zasilania odbiorników, dezorganizować w ten sposób proces technologiczny i powodować straty ekonomiczne. Rezultatem ta-

kiej sytuacji jest niechęć personelu eksploatacyjnego w kopalniach niemetanowych do wykorzystywania zabezpieczeń ziemnozwarciowych działających na wyłączenie uszkodzonego odcinka sieci.

Istnieją również kopalnie, których sieci w ogóle nie są wyposażone w zabezpieczenia ziemnozwarciowe, poza wskaźnikami doziemienia, np. typu WEZ.

Wydaje się, iż uzasadniony jest pogląd, że u podstaw niepowodzeń w dziedzinie zabezpieczeń ziemnozwarciowych sieci leży głównie brak dostatecznego eksperymentalnego rozeznania zjawisk i struktury doziemień w sieciach rzeczywistych. Przykładowo badania takie są prowadzone w napowietrzonych sieciach kompensowanych energetyki zawodowej [7]. Tym bardziej uzasadniona jest celowość, a nawet konieczność przeprowadzenia badań wybranych wielkości charakteryzujących doziemienie w kopalnianych sieciach wysokonapięciowych.

Do wielkości charakteryzujących doziemienie można między innymi zaliczyć:

- "strukturę" [7] doziemień, ujmującą w sposób ilościowy częstość występowania i czas trwania doziemień w sieciach "izolowanych" i kompensowanych,
- rezystancję przejścia w miejscu doziemienia,
- zawartość wyższych harmonicznych w prądzie doziemnym.

Badania wymienionych wyżej parametrów doziemienia prowadzone są przez Instytut Elektryfikacji i Automatykacji Górnicztwa Pol. Śl., a niniejszy artykuł stanowi publikację niektórych ich wyników.

## 2. Badania liczby i czasu trwania doziemień

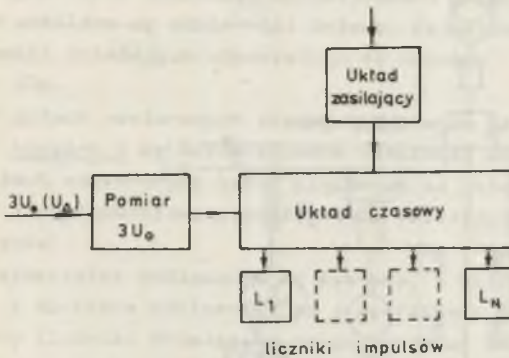
### 2.1. Cel i metoda badań

Celem rozpoczętych badań jest zebranie danych, które po opracowaniu powinny stanowić podstawę odpowiedzi między innymi na następujące pytania związane z problemem doziemień w sieciach kopalnianych:

- jak kształtuje się liczba doziemień i czas ich trwania?
- czy w kopalnianych sieciach kablowych występują tzw. doziemienia "samozanikające"?
- jaki procent zwarć doziemnych przekształca się i po jakim czasie w zwarcia międzyprzewodowe?
- jaki jest udział doziemień w ogólnej liczbie zwarć w danej sieci w określonym okresie czasu?

Orientacyjne dane statystyczne można by zebrać, korzystając z prowadzonych w rozdzielniach kopalnianych tzw. książek raportowych (książek awarii). Jednak, nie oceniając rzetelności zapisów w tych książkach, należy stwierdzić, iż sposób formułowania i zakres notatek sprawia, że są one z reguły mało przydatne do opracowania statystycznego. Dlatego też podane w dal-

szym ciągu artykułu dane statystyczne uzyskane z książek raportowych należy traktować jako wstępne.



Rys. 1. Schemat blokowy rejestratora doziemień

W celu uzyskania danych bardziej ścisłych (obiektywnych) dla rejestracji liczby i czasu trwania doziemień opracowano i zastosowano urządzenie (rejestrator doziemień) działające w oparciu o liczniki impulsów elektrycznych. Urządzenie pozwala rejestrować liczbę doziemień o czasie trwania  $t$ , przy czym  $t$  może należeć do jednego z  $N$  przyjętych przedziałów czasowych. Schemat blokowy rejestratora doziemień (RD) przedstawiono na rys. 1. Wielkością, na którą reaguje rejestrator, jest napięcie proporcjonalne do składowej zerowej ( $U_0$ ) napięć fazowych względem ziemi. Przyjęto wartość  $3U_0$  - napięcie "otwartego trójkąta" filtru składowej zerowej napięcia. Odpowiedni licznik rejestratora zadziała, gdy napięcie  $3U_0$  jest większe od przyjętej wartości  $U_r$ , a czas trwania tego napięcia na zaciskach filtru jest nie krótszy od nastawionego czasu  $t$ .

## 2.2. Charakterystyka sieci, w których wykonano pomiary

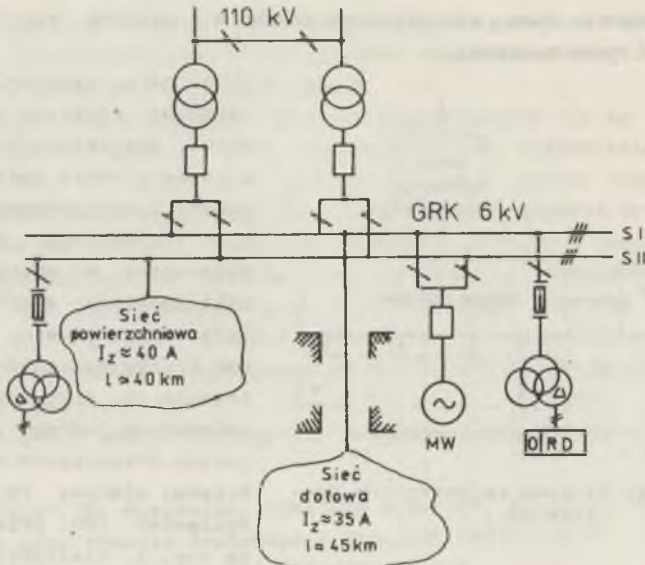
Wartość pojemnościowego prądu doziemnego w wysokonapięciowych sieciach kopalnianych lub ich nie połączonych galwanicznie częściach waha się w szerokim przedziale: od kilka do stu kilkudziesięciu amperów [3, 4, 6]. Przebiegająca wartość jednostkowego orądu doziemnego wynosi 0,9 A/km. Są to sieci kablowe; tylko nieliczne z nich są powiązane galwanicznie ze względnie krótkimi odcinkami linii napowietrznych. W wielu kopalniach jest stosowany podział sieci na dwie lub trzy nie powiązane z sobą galwanicznie części, przy czym w pewnym sensie typowy jest podział sieci na część zasilającą odbiorniki powierzchniowe i część zasilającą odbiorniki dołowe.

Do wstępnych badań struktury doziemień wybrano sieci (z izolowanym punktem zerowym) trzech kopalń. Pewne charakterystyczne dane tych sieci i układy połączeń w normalnym ruchu przedstawiono na szkicach (rys. 2-4).

Ochrona ziemnozwarciowa sieci kopalni A polega na wyposażeniu każdego systemu (sekcji) szyn zbiorczych w układ filtru składowej zerowej napięcia, współpracujący z przekaźnikiem nadnapięciowym.

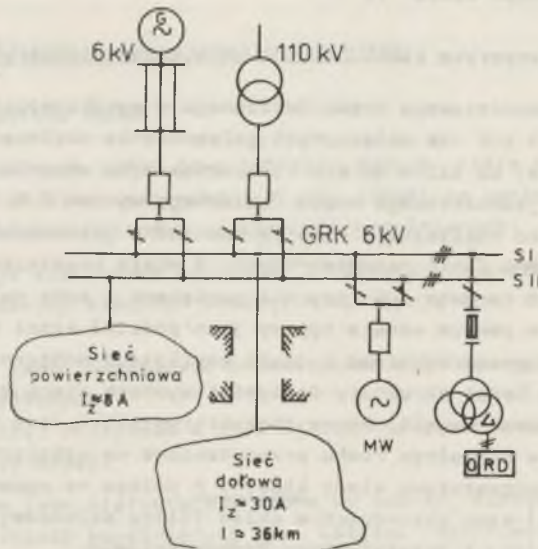
Ponadto odcinki linii zasilające odbiorniki w pomieszczeniach niebezpiecznych pod względem wybuchu zabezpieczone są przekaźnikami ziemnozwar-





Rys. 2. Szkic sieci kopalni A

GRK - główna rozdzielnica kopalniana, MW - silnik maszyny wyciągowej, RD - rejestrator doziemień,  $I_z$  - pojemnościowy prąd doziemny,  $l$  - łączna długość linii elektroenergetycznych



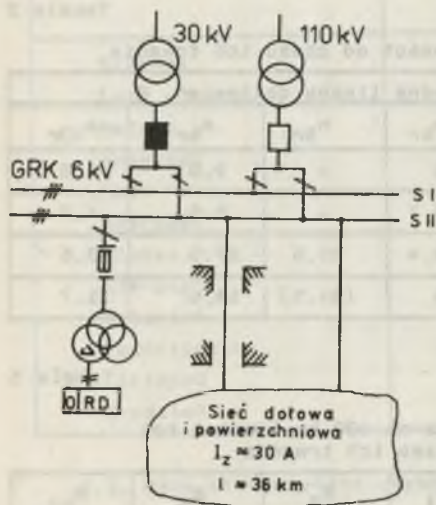
Rys. 3. Szkic sieci kopalni B

ciowymi kierunkowymi działającymi "na wyłączenie" (łączna długość tych linii stanowi kilka procent rozległości sieci, w której wykonano pomiary).

Rejestrator doziemień zainstalowano w polu pomiarowym systemu, z którego zasilane są odbiorniki dołowe. Rejestrator wyposażony jest w cztery liczniki działające odpowiednio ze zwłoką:  $t_1 = 0,1s$ ,  $t_2 = 1s$ ,  $t_3 = 5s$ ,  $t_4 = 10s$ .

W polach pomiarowych obydwóch systemów szyn zbiorczych głównej rozdzielnicy kopalni B są zainstalowane wskaźniki doziemienia typu WEZ-3; ponadto w polach odbiorczych kabli szybowych są zainstalowane przekaźniki nadprądowe ziemnozwarciowe typu RIG-800, działające ze zwłoką 3±5 sekund "na wyłączenie".

Rejestrator podłączono do systemu, z którego są zasilane odbiorniki dołowe i niektóre odbiorniki na powierzchni. Rejestrator jest wyposażony w cztery liczniki działające odpowiednio ze zwłoką:  $t_1 = 0,1s$ ,  $t_2 = 1s$ ,  $t_3 = 5s$ ,  $t_4 = 10s$ .



Rys. 4. Szkic sieci kopalni C

Sieć kopalni C jest siecią kablowo-napowietrzną (udział linii napowietrznych w całkowitej długości linii wynosi ok. 10%). Sieć nie jest wyposażona w zabezpieczenia ziemnozwarciowe. Istnieje jedynie układ centralnej sygnalizacji zaistniałego doziemienia. Rejestrator, który zainstalowano w tej sieci, jest wyposażony w pięć liczników działających odpowiednio ze zwłoką:  $t_1 = 0,1s$ ,  $t_2 = 1s$ ,  $t_3 = 3s$ ,  $t_4 = 5s$ ,  $t_5 = 10s$ .

Napięcie rozruchu  $U_r$  we wszystkich rejestratorów (w sieciach kopalni A, B i C) wynosiło 50 woltów.

### 2.3. Wyniki pomiarów

Wyniki rejestracji liczby i czasu doziemień w trzech scharakteryzowanych wyżej sieciach zestawiono w tabelach 1-4. Dotyczą one okresów czasu: dla sieci kopalni A - 19 miesięcy, kopalni B - 24 miesięcy i kopalni C - 12 miesięcy. W tabelach zastosowano następujące oznaczenia:

$n_{0,1}$ ,  $n_1$ ,  $n_3$ ,  $n_5$ ,  $n_{10}$  - liczba doziemień trwających odpowiednio nie krócej niż: 0,1s, 1s, 3s, 5s i 10s,

Tabela 1

Wyniki rejestracji doziemień w kopalnianych sieciach 6 kV  
z izolowanym punktem zerowym

Kopalnia	Okres rejestracji a	Liczba doziemień				
		$n_{0,1}$	$n_1$	$n_3$	$n_5$	$n_{10}$
		$n'_{0,1}$	$n'_1$	$n'_3$	$n'_5$	$n'_{10}$
A	1,6	560	90	-	55	38
		29	4,7	-	2,9	2
B	2	718	142	-	47	34
		30	5,9	-	2	1,4
C	1	127	50	40	35	30
		10,6	4,2	3,3	2,9	2,5

Tabela 2

Względna liczba doziemień w zależności od czasu ich trwania

K o p a l n i a	Względna liczba doziemień, %				
	$n_{0,1r}$	$n_{1r}$	$n_{3r}$	$n_{5r}$	$n_{10r}$
A	100	16	-	9,8	6,8
B	100	19,7	-	6,5	4,7
C	100	39,4	31,5	27,5	23,6
Średnio	100	25	(31,5)	14,6	11,7

Tabela 3

Liczba doziemień przypadająca na 100 km linii i rok  
w zależności od czasu ich trwania

K o p a l n i a	$W_{0,1}$	$W_1$	$W_3$	$W_5$	$W_{10}$
A	565	84	-	58	42
B	766	129	-	49	40
C	353	139	111	97	83
Wartość średnia	561	117	(111)	68	55

Uwaga: W obliczeniach wartości wskaźników  $W$  dla kopalń A i B nie uwzględniono wyników rejestracji z trzech miesięcy (w obydwóch przypadkach), które znacznie odbiegają od pozostałych i nasuwają przypuszczenie, że są zawyżone w rezultacie występowania doziemienia z łukiem przerywanym.



- $n'_{0,1}, n'_1, n'_3, n'_5, n'_{10}$  - średnia liczba doziemień w ciągu jednego miesiąca (znaczenie indeksów liczbowych jak wyżej),
- $n_{0,1r}, n_{1r}, n_{3r}, n_{5r}, n_{10r}$  - względna liczba doziemień ( $n_{xr} = \frac{n_x}{n_{0,1}} \cdot 100\%$ ),
- $w_{0,1}, w_1, w_3, w_5, w_{10}$  - wskaźnik doziemień (liczba doziemień w ciągu roku przypadająca na 100 km linii).

Tabela 4

Wyniki rejestracji doziemień w poszczególnych miesiącach w sieci kopalni B

M i e s i ą c	Liczba doziemień			
	$n_{0,1}$	$n_1$	$n_5$	$n_{10}$
Styczeń	55	8	3	2
Luty	20	5	2	1
Marzec	12	3	2	1
Kwiecień	22	2	0	0
Maj	6	2	1	0
Czerwiec	25	3	1	1
Lipiec	29	1	1	1
Sierpień	33	9	3	3
Wrzesień	26	1	1	1
Październik	27	8	7	6
Listopad	21	4	2	2
Grudzień	21	3	1	1

#### 2.4. Dane statystyczne uzyskane na podstawie książek raportowych

Dane o doziemieniach w sieci wysokonapięciowej kopalni C zebrano za okres obejmujący prawie cztery lata. W tym okresie do książki raportowej rozdzielni głównej wpisano 152 notatki o występujących doziemieniach, przy czym w 61 wypadkach ustalono miejsce wystąpienia doziemienia (doziemienie trwałe); natomiast w pozostałych wypadkach były to doziemienia przemijające (tabela 5). Jako najczęstszą przyczynę doziemienia wymieniano uszkodzenie kabla lub innego elementu linii kablowej (65% wszystkich przypadków o ustalonym miejscu doziemienia), a następnie uszkodzenie urządzeń wysokonapięciowych w przewoźnych stacjach transformatorowych (23%).

W kopalni A w ciągu 4 lat zanotowano w książce awarii 70 doziemień o czasie trwania dłuższym od 2s, przy czym dotyczy to całej sieci 6 kV. Nie w każdym przypadku podano miejsce i przyczynę doziemienia nazywając je doziemieniami przemijającymi.

Tabela 5

Liczba doziemień w sieci kopalni C  
(na podstawie książki awarii)

R o k	Liczba doziemień		
	przemijających	trwałych	łącznie
1973	14	13	27
1974	23	21	44
1975	33	18	51
I+VII 1976	21	9	30
1973+1976	91	61	152

### 3. Analiza wyników i wnioski

Z zebranego dotychczas materiału statystycznego dotyczącego doziemień w wysokonapięciowych sieciach kopalnianych wynikają następujące stwierdzenia o charakterze ilościowym:

- 1) Liczba zarejestrowanych w ciągu miesiąca doziemień o czasie trwania nie krótszym od 0,1 sekundy waha się od 5 do 116; średnio - 23 doziemienia.
- 2) Maksymalna liczba zarejestrowanych w ciągu miesiąca doziemień o czasie trwania nie krótszym od 10 sekund wynosi 10.
- 3) Przed upływem 1 sekundy zanika 61+84% wszystkich zarejestrowanych doziemień. Doziemienia trwające nie krócej niż odpowiednio 1; 5 i 10 sekund stanowią średnio:  $n_{1r} = 24,9\%$ ,  $n_{5r} = 14,4\%$ ,  $n_{10r} = 11,7\%$ .
- 4) Średnie wskaźniki doziemień w zależności od czasu trwania doziemienia (odpowiednio dla doziemień trwających nie krócej niż 0,1s, 1s, 5s i 10s) wynoszą:  $W_{0,1} = 561$ ,  $W_1 = 117$ ,  $W_5 = 68$ ,  $W_{10} = 55$ .

Ponadto nie stwierdzono, by liczba doziemień w sieciach kopalnianych zależała od pory roku.

Wyniki rejestracji potwierdzają także pogląd, że i w sieciach kablowych mogą występować doziemienia samozanikające. Doziemienia samozanikające (w tym samogasnące [7]) mogą występować w postaci przeskoku iskry (łuku) na izolacji łączników, izolatorów wsporczych, wyprowadzeń transformatorów, przekładników lub w izolacji kabli i osprzętu linii kablowych. Przyczyną może być nagrzanie się, zawilgocenie lub zabrudzenie materiału izolacyjnego. Te ostatnie dwa czynniki szczególnie intensywnie występują w przypadku podziemi kopalń.

W sieciach kablowych może występować też pozorna "regeneracja" uszkodzonej izolacji. Jak stwierdzono [1, 2], po doziemieniu łukowym w izolacji kabla trwającym ok. 2 sekundy wytrzymałość izolacji ( $U_n = 6$  kV) wy-



siła 5+6 kV. Wskazuje to na duże prawdopodobieństwo niepojawiania się łuku po wyłączeniu i powtórny załączeniu napięcia, mimo że izolacja jest uszkodzona.

Porównując przytoczone wyżej wyniki rejestracji doziemień w sieciach kopalnianych z danymi dotyczącymi miejskich sieci kablowych średniego napięcia [7], można stwierdzić, że w sieciach kopalnianych częstość występowania doziemień jest około 3 razy większa.

#### LITERATURA

- [1] Dudariew L.Je.: Dugowyje zamykanija na ziemi w kabielnich sietiach, Elektriczeskije Stancji 1970, nr 8.
- [2] Dudariew L.Je., Łukancjew N.M.: Razruszenije kabielej i wybros wysokotiemperaturnych produktow pri gorjeni jomkostnogo toka. Promyszlenaja Energiatika 1973, nr 10.
- [3] Hrabia M.: Badanie częstości występowania i czasu trwania doziemień w kopalnianych sieciach WN. Praca dyplomowa inżynierska wykonana w IEiAG. Gliwice 1975 (niepublikowana).
- [4] Jezela S.: Statystyczna analiza doziemień w kopalnianych sieciach elektroenergetycznych WN. Praca dyplomowa magisterska wykonana w IEiAG. Gliwice 1974 (niepublikowana).
- [5] Krasucki F.: Problemy niezawodności oraz bezpieczeństwa elektryfikacji i automatyzacji podziemi kopalń węgla. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Gliwice 1972, Górnictwo z. 51.
- [6] Praca zbiorowa: Badania struktury i charakteru zakłóceń oraz optymalizacja systemów zabezpieczeń ziemnozwarciowych w kopalnianych sieciach WN i NN. Praca naukowo-badawcza wykonywana w IEiAG. Sprawozdanie z I etapu. Gliwice 1977 (niepublikowana).
- [7] Synal B.: Zjawiska ziemnozwarciowe w sieciach z małym prądem zwarcia doziemnego. Problematyka zabezpieczeniowa. Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej nr 31, seria Monografie nr 4. Wrocław 1975.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В ШАХТНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6 кВ

#### Резюме

Проводится оценка современного состояния охраны короткого замыкания на землю в шахтных сетях 6 кВ и обосновывается целесообразность статистических исследований замыкания на землю в действительных сетях. Представлен способ и прибор для регистрирования числа и времени действия замыкания на землю. Дается характеристика сетей, в которых проведены были исследования, а также обобщаются результаты этих исследований.

EARTH FAULT STRUCTURE IN 6 kV MINING POWER NETWORKS

Summary

An assessment of actual earth fault protection state in 6 kV mining networks has been carried out and the necessity of statistic research of faults in real networks has been corroborated.

Means and an instrument have been discussed for logging numbers and duration of faults. Networks in which tests have been carried out were characterised along with the test results.