

Florian Krasucki

BADANIE WPŁYWU WILGOCI NA WŁAŚCIWOŚCI BEZMASOWYCH POŁĄCZEŃ I ZAKOŃCZEŃ KABLI ELEKTROENERGETYCZNYCH

Streszczenie. Przedstawiono syntetycznie wyniki badań właściwości elektrycznych różnych rodzajów zakończeń i połączeń elektroenergetycznych kabli i przewodów górniczych. Wykazano, że dotychczasowe tzw. suche zakończenia i połączenia kabli tylko w niektórych przypadkach mogą być uznane jako przydatne dla górnictwa. Z przeprowadzonych badań i analizy wynikają zalecenia co do sposobów wykonywania muf i głowic oraz zakresu ich stosowania.

1. Wstęp

Kable i przewody oponowe górnicze są instalowane i eksploatowane w atmosferze o dużej wilgotności względnej, a często nawet bezpośrednio w wodzie. Maksymalną koncentrację pary wodnej, jaką może pochłonąć materiał w danych warunkach, nazywamy zawilgoceniem [4]. W wyniku zawilgocenia następuje: zmniejszenie oporu skrośnego i powierzchniowego, zmniejszenie wytrzymałości elektrycznej oraz zwiększenie strat dielektrycznych i przenikalności dielektrycznej.

Wnikanie wody w organiczne materiały kablowe może zachodzić przez mikroskopijne pory i naczynia włoskowate. Wchłaniana woda może być zatrzymana i rozpuszczona w materiale (sorpcja) oraz może przenikać przez niego (dyfuzja). Zjawisko sorpcji interesuje nas przede wszystkim w powłokach izolacyjnych, natomiast przenikalność w powłokach ochronnych, zapobiegających wnikaniu wody do ośrodka przewodu.

Praktycznie należy wyróżnić trzy zasadnicze drogi wnikania wody do izolacji kabli i przewodów:

- nieodpowiednio dobrane i wykonane powłoki,
- uszkodzenia mechaniczne, elektryczne i korozyjne powłok zewnętrznych,
- niewłaściwie wykonane zakończenia lub połączenia przewodów.

Dla kabli i przewodów górniczych, uwzględniając ich praktyczny okres eksploatacji, decydujący wpływ na stopień zawilgocenia mają uszkodzenia powłok zewnętrznych oraz sposób uszczelnienia połączeń i zakończeń. Dotyczy to przede wszystkim kabli o izolacji papierowo-olejowej. Przyczyny techniczno-ruchowe powodują, że zachodzi konieczność stosowania również tzw. "suchych" zakończeń, wykonywanych za pomocą izolacyjnej taśmy olejnej i lakieru izolacyjnego [1]. Jest to główna droga wnikania wilgoci do ośrodka przewodu i przyczyna szybkiego zmniejszania się oporu izolacji sieci górniczych.

2. Wpływ wilgoci na opór izolacji zakończeń nieuszczelnionych

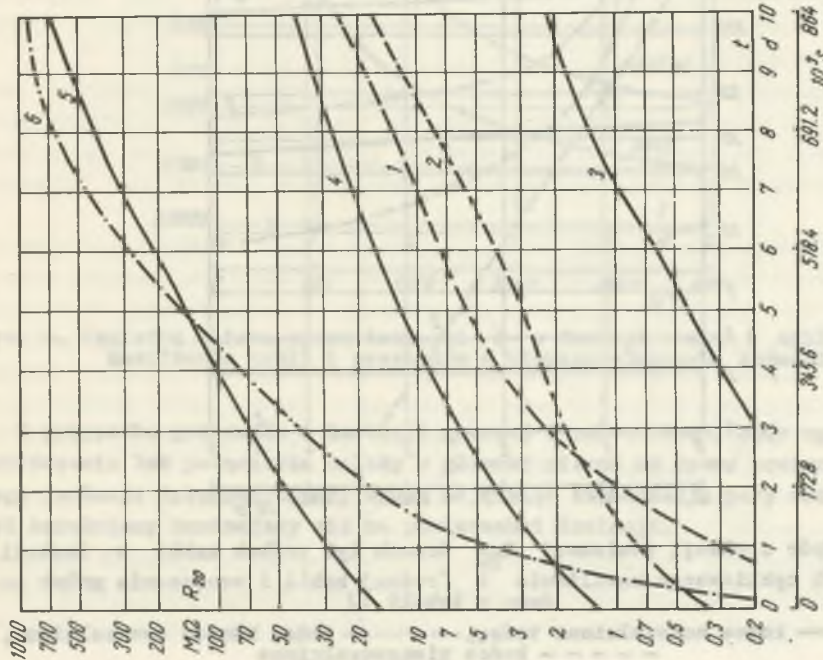
Badania skutków wnikania wilgoci przez zakończenia, przeprowadzano głównie na odcinkach kabli o izolacji papierowej nasyconej. Próbki kabli o napięciu znamionowym 1 i 6 kV i różnych przekrojach żył (tabela 1), długości około 5 m każda z różnie zabezpieczonymi końcami, umieszczono na okres 5 dni w komorze prób klimatycznych. Wilgotność względna powietrza w komorze wynosiła 98%, a temperatura ($35 \pm 2^\circ\text{C}$). Pomiar rezystancji izolacji doziemnej wykonywano miernikiem lampowym w temperaturze otoczenia przed umieszczeniem próbek w komorze oraz po ich wyjęciu i usunięciu rosy z izolacji żył. Wyniki pomiarów podane w tabeli 1 przedstawiają wartości średnie z odczytów po 60 i 300 sekundach, po przeliczeniu do temperatury 20°C .

Tabela 1

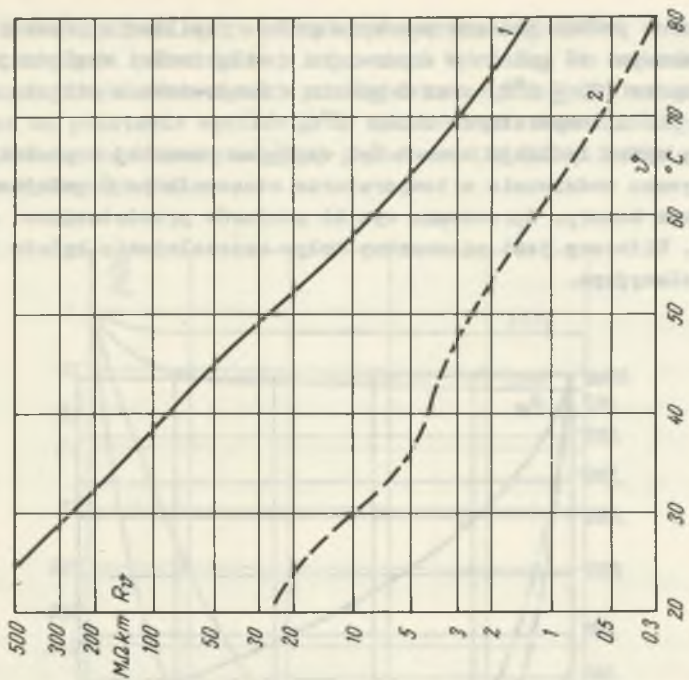
Wpływ zawilgocenia zakończeń kabli
na zmianę wartości oporu izolacji fazowej

Lp.	Rodzaj kabla	Sposób wykonania zakończeń	Opór izolacji $M \Omega$	
			przed próbą	po próbie
1	KSft $3 \times 35 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$, 1 kV	bez uszczelnienia	10^4	0,1
2	KSft $3 \times 95 \text{ mm}^2 + 50 \text{ mm}^2$, 1 kV	- " -	$2 \cdot 10^3$	0,3
3	KSFod $4 \times 16 \text{ mm}^2$, 1 kV	obwój z taśmy olejnej i lakier izolacyjny	$4,8 \cdot 10^4$	0,1
4	KSft $4 \times 25 \text{ mm}^2$, 1 kV	- " -	$3,8 \cdot 10^4$	1,1
5	KSft $3 \times 50 \text{ mm}^2$, 6 kV	- " -	$3,2 \cdot 10^4$	16
6	KSft $3 \times 35 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$, 1 kV	jeden koniec uszczelniony jw., drugi koniec uszczelniony za pomocą kablówką	10^4	2

Zawilgocone próbki umieszczono następnie w pomieszczeniu o wilgotności względnej 66-74% i temperaturze $16-19^\circ\text{C}$. Zmiany oporu izolacji (odczyty po 300 sekundach pomiaru przeliczone do 20°C) w okresie pierwszych 10 dni takiego "naturalnego podsuszania" podano na rys. 1. W przypadku przepływu prądu roboczego, w miarę wzrostu temperatury żył, następuje znacznie szybszy wzrost oporu izolacji zawilgoconej próbki. Przedstawiono to przykładowo na rys. 2.

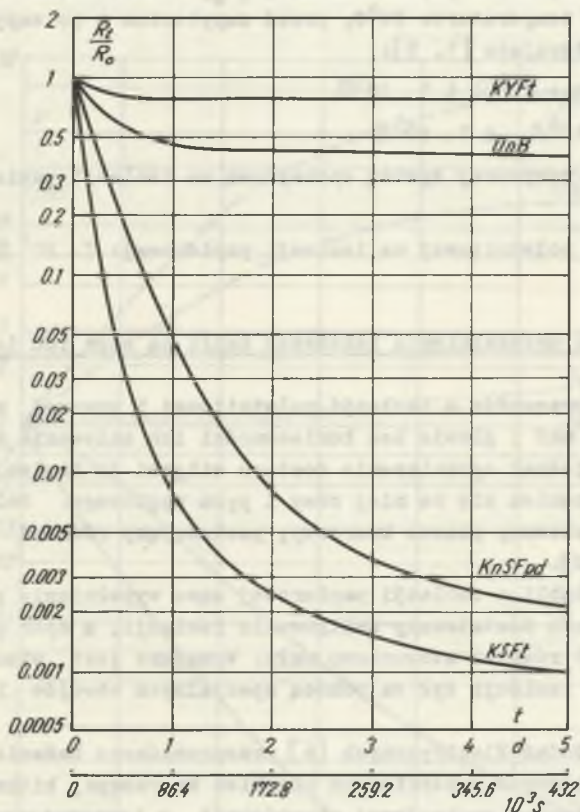


Rys. 1. Opór izolacji doziemnej R_{20} trzech żył za-
wilgoconych próbek kabli w funkcji czasu "poduszka-
nia" t (oznaczenia próbek zgodne z tabelą 1)



Rys. 2. Wpływ temperatury żył na wartość oporu izo-
lacji fazowej kabla AKSFOY 4 x 35 mm², 1000 V
1 - próbka z uszczelnionymi końcami, 2 - próbka za-
wilgocona poprzez nieuszczelnione końce

Znacznie mniejszy jest wpływ niezabezpieczenia zakończeń w kablach i przewodach o izolacji polwinitowej i gumowej. Wykazały to badania porównawcze, których przykładowe wyniki przedstawiono wykreślnie na rys.4. Krzywe wykreślono na podstawie wyników prób cyklicznego dwuzmianowego przetrzymywania w komorze klimatyzacyjnej próbek kabli: KSFT, KnSFpd, KYFt oraz przewodu oponowego OnG.



Rys. 4. Względna zmiana oporu izolacji R w funkcji czasu t cyklicznego nawilżania kabli i przewodów z nieuszczelnionymi końcami

W przypadku przewodów o izolacji gumowej i polwinitowej opór wypadkowy zakończenia lub połączenia zależy w głównej mierze od oporu powierzchniowego izolacji żył. Decydujący wpływ mają więc kondensacja pary wodnej oraz pył kopalniany osadzający się na powierzchni izolacji.

Opór powierzchniowy izolacji odcinka 1 żyły okrągłej o promieniu r_z oblicza się z zależności

$$R_s = \frac{\rho_s \cdot l}{2\pi r_z}$$

Wartość rezystywności powierzchniowej ρ_s , w środowisku o wilgotności względnej 98% i temperaturze 20°C, przed zapyleniem i po zapyleniu przyjmować można następująco [1, 5]:

- guma izolacyjna: $10^8 \Omega$ i $5 \cdot 10^5 \Omega$
- polwinit: $6 \cdot 10^6 \Omega$ i $7 \cdot 10^5 \Omega$
- obwód z taśmy nasyconej żywicą epoksydową na izolacji papierowej: $5 \cdot 10^6 \Omega$ i $8 \cdot 10^5$,
- obwód z taśmy polwinitowej na izolacji papierowej: $7 \cdot 10^6 \Omega$ i $9 \cdot 10^5 \Omega$.

3. Wpływ sposobu uszczelnienia zakończeń kabli na stan ich izolacji

Dla kabli i przewodów o izolacji polwinitowej i gumowej możliwe jest więc stosowanie muf i głowic bez konieczności ich zalewania masą kablową. Konieczne jest jednak ograniczenie dostępu wilgoci do izolacji oraz ochrona przed gromadzeniem się na niej rosy i pyłu węglowego. Rolę taką może spełniać hydrofobowany piasek kwarcowy, posiadający również wiele innych cennych zalet [2].

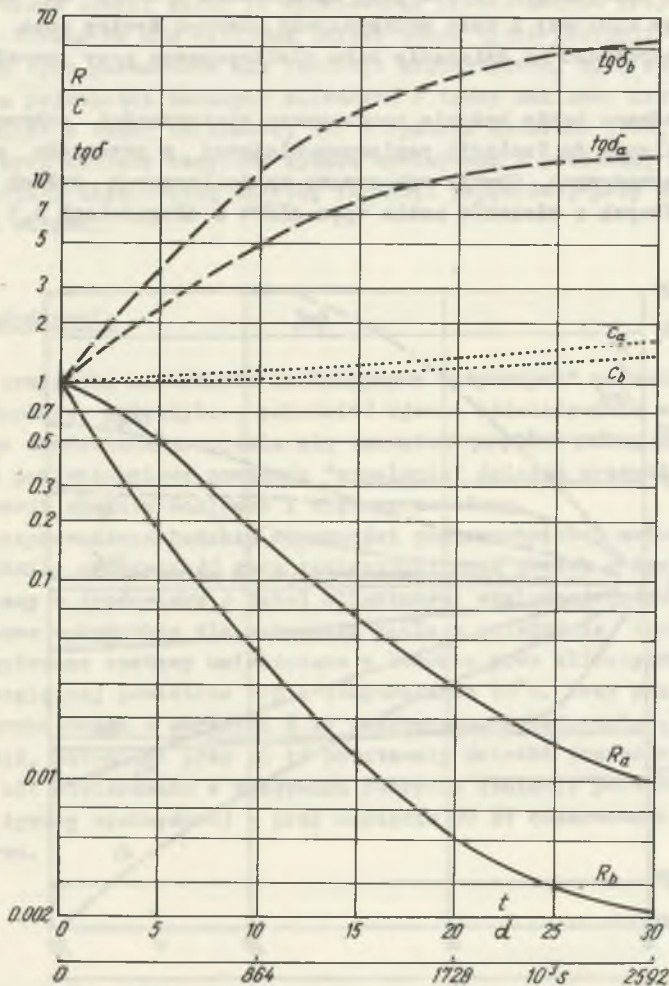
W przypadku kabli o izolacji papierowej samo wypełnienie piaskiem nie zapobiega w sposób dostateczny zwilgoceniu izolacji, a opór powierzchniowy izolacji jest również stosunkowo mały. Wymagane jest wtedy dodatkowe "uszczelnienie" izolacji żył za pomocą specjalnych obwojów lub "rękawiczek".

W Zakładzie Badań Elektrycznych [6] przeprowadzono badania porównawcze muf i głowic kablowych wypełnionych piaskiem kwarcowym, bitumiczną zalewą kablową oraz z żywicy epoksydowej utwardzonej w temperaturze otoczenia. Zestawy próbne wykonane były z 1,5 m odcinków kabli niskiego napięcia o izolacji papierowej nasyconej i typowego osprzętu, bez dodatkowych obwojów uszczelniających. Próbki umieszczone zostały w komorze prób klimatycznych. Klimatyzację prowadzono przez okres jednego miesiąca (2592ks) w atmosferze o wilgotności względnej 96% i temperaturze 35°C.

W dni robocze wykonywano pomiary: rezystancji, pojemności i współczynnika stratności dielektrycznej izolacji, między żyłami oraz między żyłą a uzziemioną powłoką ołowianą połączoną z opancerzeniem. Pojemność i stratność mierzono mostkiem Wiena-Scheringa, typ 2801 szwajcarskiej firmy Tettext, przy użyciu przewodów ekranowych wprowadzonych do komory probierczej.

Opór wyznaczano metodą pośrednią, z pomiarów czasu rozładowania pojemności wzorcowej i napięć.

Końcowe analityczne wyniki badań, średnie z pomiarów dla żeliwnej mufy i głowicy wypełnionych piaskiem kwarcowym, przedstawiono graficznie na rys. 5.



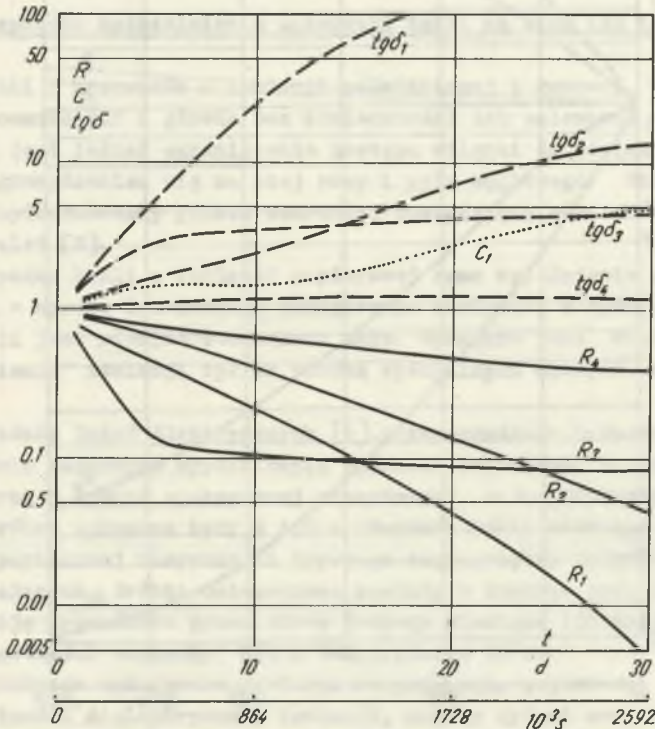
Rys. 5. Względna zmiana rezystancji R , pojemności C i stratności dielektrycznej $tg \delta$ w funkcji czasu t klimatyzacji badanych zestawów kabli AKSPt z głowicami i mufami wypełnionymi piaskiem kwarcowym

a - izolacja międzyfazowa, b - izolacja doziemna

Widoczny jest duży wpływ wchłanianej wilgoci w okresie klimatyzacji na parametry charakteryzujące stan izolacji.

Pojemność i stratność dielektryczna głowic, wypełnionych zalewą kablową i z żywicy epoksydowej, badanych w takich samych warunkach nie uległy istotnym zmianom. Opór izolacji między żyłami zmniejszył się pięciokrotnie, natomiast izolacji doziemnej siedmiokrotnie. Jednakże stosowanie tych materiałów w podziemiach kopalń jest ograniczone z uwagi na konieczność topienia masy kablowej i małą wytrzymałość udarową żywicy oraz niedostateczną ich odporność na działanie łuku elektrycznego przy zwarciach wewnętrznych [2].

Przeprowadzono także badania porównawcze skuteczności ochrony przed wnikaniem wilgoci do izolacji papierowo-olejowej w przypadku stosowania zakończeń bezmasowych. Obwoje wykonywano na izolowanych żyłach zakończeń zestawów próbnych z odcinków kabla typu AKSfT o długościach 1,5 m.



Rys. 6. Względna zmiana stanu izolacji doziemnej - rezystancji R , pojemności C i stratności dielektrycznej $tg \delta$ - zakończeń kabli AKSfT wykonanych w postaci obwojów z: 1 - elektroizolacyjnej taśmy olejowej, 2 - tkaniny szklanej nasyconej żywicą epoksydową, 3 - tkaniny szklanej nasyconej żywicą epoksydową i powleczonej pastą silikonową, 4 - taśmy teflonowej

W każdym przypadku bezpośrednio na izolację żył nakładano obwój z olejnej taśmy elektroizolacyjnej celem wstępnego zabezpieczenia przed wyciekaniem syciwa. Ochronę właściwą wykonano w postaci obwojów z taśmy teflonowej (policzterofluoroetylen) oraz z nasyconych po wykonaniu obwojów żywicą epoksydową "Epidian 5" taśm z następujących tkanin: bawełnianej, szklanej, szkłosilikonowej i szkłoepoksydowej. Niektóre z nich po utwardzeniu żywicy powlekano dodatkowo pastą silikonową.

Wybrane wyniki badań po opracowaniu przedstawiono przykładowo na rysunku 6. Podano na nim względną zmianę stanu tylko izolacji doziemnej, bowiem zmiany tych parametrów dla izolacji międzyżyłowej były znacznie mniejsze. Zmiana pojemności badanych zakończeń z taśmy szklanej nie przekroczyła 30%, natomiast z taśmy teflonowej 1%. Z rysunku widoczne jest, że obwoje teflonowy oraz szklany nasycony żywicą epoksydową i powlekany pastą silikonową zapewniają dostateczną ochronę izolacji papierowej przy długotrwałym działaniu wilgoci.

4. Zakończenie

W przypadku materiałów izolacyjnych "odpornych" na wnikanie wilgoci (guma, epoksyd, polietylen, polwinit) ujemne oddziaływanie wilgotnego i zapyłonego środowiska przejawia się wzrostem prądów pełzających. Niewielkie prądy powierzchniowe powodują "wypalanie" ścieżek przewodzących, a w konsekwencji zwarcia doziemne i międzyprzewodowe.

Przeprowadzone badania odporności powierzchniowej metodą kropłową potwierdziły przydatność gumy izolacyjnej oraz powłok z żywicy epoksydowej do pracy w środowisku o dużej wilgotności względnej. Dodatkowe badania napięciowe wykonywano dla zakończeń kabla w polwinicie, typu YAKYFoy 6 kV. Przygotowane zestawy umieszczano w komorze prób klimatycznych, w wilgotności względnej powietrza 97% i temperaturze 50°C. Przy przemiennym napięciu probierczym o wartości 6 kV obserwowano wyładowania pełzne po izolacji żył, natomiast przy 15 kV powstawały ścieżki przewodzące. Objawów takich nie stwierdzano w przypadku pokrycia izolacji polwinitowej żył warstwą żywicy epoksydowej - przy napięciu 30 kV obserwowano przeskok w powietrzu.

LITERATURA

- [1] Krasucki F.: Bezmasowe zakończenia kabli elektroenergetycznych - analiza i wytyczne. Międzyresortowy Zespół Kablowy; ref., MGIE, 1968.
- [2] Krasucki F.: Niektóre zagadnienia stosowania hydrofobowego piasku kwarcowego w elektrycznych urządzeniach górniczych. Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie, 1969, nr 3.
- [3] Krasucki F.: Problemy niezawodności oraz bezpieczeństwa elektryfikacji i automatyzacji podziemi kopalń węgla. Zeszyty Naukowe Pol. Sl., 1972, nr 328.
- [4] Krasucki F.: Wpływ wilgoci na niektóre właściwości organicznych materiałów elektroizolacyjnych. Zeszyty Naukowe Pol. Sl., Górnictwo, 1974.
- [5] Sobolew W.G.: Opriedielenije powierzchniowego soprotiwlenija izolacji w koncewych zadiełkach szachtnych kabielej. Gornyje masziny i awtomatika, CNIEI - Ugol, 1968, wyp. 4.
- [6] ZKMPW: Badania sposobów ochrony klimatycznej materiałów i układów izolacyjnych urządzeń elektrycznych górniczych. Praca nr EB-38/NB4, 1969.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАГИ НА СВОЙСТВА
БЕЗМАССОВЫХ СОЕДИНЕНИИ И ОКОНЧАНИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕМ

Резюме

В статье в сжатом виде представлены результаты исследований электрических свойств разного рода окончаний и соединений силовых кабелей и шахтных электросводов.

Доказано, что существующие так называемые сухие окончания и соединения кабелей только в некоторых случаях могут быть пригодными в шахтах. На основе проведенных исследований и анализа получены указания относительно изготовления муфт и боксов и области их применения.

STUDIES OF THE DAMPER INFLUENCE ON THE PROPERTIES OF THE NOT
GROUNDED CABLE JOINTS AND CABLE TERMINALS

Summary

In the paper are presented the synthetic results of studies on the electric properties of different kinds of power cables terminals and joints for mine applications.

It is indicated that previous, so called dry terminals and joints of cables only in some cases can be recognized as useful for mine applications.

Investigations and tests shows us the range of applications and recommendations for accomplishing the cable boxes and heads.