

Katedra Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa

Ćwiczenia laboratoryjne

Materiały pomocnicze do ćwiczenia

Górnice kable i przewody oponowe

Autor: dr inż. Sergiusz Boron

Gliwice, grudzień 2009 r.

1. Kable elektroenergetyczne górnicze

1.1 Ogólna charakterystyka i wymagania stawiane kablom górniczym

Kable przeznaczone do pracy w wyrobiskach zakładów górniczych powinny charakteryzować się dużą odpornością na specyficzne narażenia występujące w podziemiach kopalń. Wynika to z faktu, że są one użytkowane w skrajnie niekorzystnych warunkach środowiskowych a jednocześnie pełnią niezwykle istotną rolę w kopalnianym układzie elektroenergetycznym. Do najważniejszych właściwości, jakimi powinny się charakteryzować kopalniane linie kablowe należy zaliczyć:

- bezawaryjną pracę w celu zapewnienia wymaganej ciągłości zasilania, szczególnie obiektów podstawowych zakładu górniczego,
- ograniczanie zagrożeń powodowanych eksploatacją kabli, ze szczególnym uwzględnieniem zagrożenia wybuchowego, porażeniowego i pożarowego.

W kopalnianych układach elektroenergetycznych stosowane są kable o różnej budowie, przy czym kable o konstrukcji tradycyjnej, tzn. z izolacją papierową i powłoką ołowianą, sukcesywnie zastępowane są konstrukcjami nowszymi, przeznaczonymi dla górnictwa tzn. kablami górniczymi (w oznaczeniu kabla wyróżniane jest to literami **KG**). Najistotniejsze wady kabli obołowionych w izolacji papierowej w warunkach podziemi kopalń to:

- niewielka odporność na typowe narażenia mechaniczne występujące w wyrobiskach,
- duża sztywność i duży promień zginania,
- konieczność stosowania gorącej zalewy przy wykonywaniu muf połączeniowych i głowic,
- podatność na pękanie powłoki ołowianej skutkujące przedostawaniem się wilgoci do ośrodka kabla,
- trudności w wykonaniu odmiany z ekranami indywidualnymi.

Biorąc pod uwagę coraz trudniejsze warunki górniczo-geologiczne występujące w eksploatowanych pokładach i związany z tym wzrastający poziom zagrożeń, a także rosnące wymagania w zakresie wymaganej niezawodności zasilania oddziałów wydobywczych (szczególnie przodków o wysokiej koncentracji produkcji), można określić najważniejsze cechy, jakimi powinny się charakteryzować nowoczesne kable górnicze:

- odporność na typowe narażenia mechaniczne (uderzenia, zgniatanie, rozciąganie itp.),
- ograniczenie możliwości wydostania się łuku elektrycznego na zewnątrz w przypadku zwarcia w kablu,
- ograniczenie zagrożenia porażeniowego powodowanego wydostaniem się napięcia na zewnątrz kabla,
- łatwość wykonywania połączeń i zakończeń kabli,
- ograniczenie zagrożenia pożarowego powodowanego przez kable,
- możliwie duża giętkość i mała masa jednostkowa.

Osiągnięcie pożądanych właściwości kabli górniczych jest możliwe przy zastosowaniu następujących rozwiązań konstrukcyjnych:

- żyły miedziane klasy 2 (wielodrutowe),
- izolacja z polietylenu usieciowanego, względnie z polwinitu,
- ekrany indywidualne na izolacji każdej żyły roboczej,
- powłoka polwinitowa na ośrodku,
- pancerz z drutów stalowych ocynkowanych (w kablach szybowych),
- zewnętrzna osłona antykorozyjna z polwinitu o zwiększonej odporności na rozprzestrzenianie płomienia.

1.2. Elementy konstrukcyjne kabli górniczych

Żyły robocze górniczych kabli elektroenergetycznych wykonywane są z drutów miedzianych jako klasy 2 wg [1]. Żyły najczęściej wykonywane są jako zagęszczone, co korzystnie wpływa na średnicę zewnętrzną i masę kabla. Zgodnie z [2] instalowanie w wyrobiskach kabli o żyłach aluminiowych jest niedozwolone (kable takie mogą być stosowane w istniejących instalacjach do fizycznego zużycia). Podyktowane jest to względami bezpieczeństwa oraz trudnościami w wykonywaniu połączeń żył aluminiowych w warunkach wyrobisk. Przekrój znamionowy żył roboczych produkowanych górniczych kabli elektroenergetycznych średniego napięcia wynosi od 25 do 240 mm², w przypadku kabli niskonapięciowych od 10 do 185 mm². W zakresie kabli o mniejszym przekroju żył roboczych do zasilania urządzeń stosuje się kable nazywane tradycyjne sygnalizacyjnymi, które w zasadzie są podobne w konstrukcji do kabli elektroenergetycznych z tym, że mogą posiadać większą liczbę żył.

Żyły posiadają kształt najczęściej okrągły, stosowanie żył o innym kształcie (np. sektorowym lub w kształcie wycinków pierścienia) jest niezalecane z powodu gorszych właściwości mechanicznych oraz konieczności przeformowania na kształt okrągły przy łączeniu kabli.

Zgodnie z [2] żyły robocze w kablach o napięciu powyżej 1 kV powinny być ułożone symetrycznie względem żyły ochronnej, co zapobiega indukowaniu się dodatkowego napięcia w SUPO. W kablach górniczych żyła ochronna wykonywana jest obecnie w postaci ekranów indywidualnych lub ekranu ogólnego. Do przekroju żyły ochronnej wlicza się również przekrój rdzenia (drutu lub linki miedzianej umieszczonej w osi podłużnej kabla).

W kablach na napięcie 3,6/6 kV o izolacji polietylenowej na żyłach roboczych wytłoczony jest ekran z polietylenu półprzewodzącego zapewniający bardziej równomierny rozkład pola elektrycznego w izolacji oraz ogranicza poziom wyładowań niezupełnych.

Izolacja obecnie produkowanych kabli górniczych wykonywana jest z polwinitu (plastyfikowanego polichlorku winylu – oznaczenie *Y* w symbolu kabla) lub z polietylenu usieciowanego (oznaczenie *XS*). Kable o izolacji papierowej mogą być stosowane do fizycznego zużycia w istniejących instalacjach. Polietylen termoplastyczny (oznaczenie *X*) stosowany jest jako materiał izolacyjny jedynie w kablach górniczych telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych, natomiast w kablach elektroenergetycznych został zastąpiony polietylenem usieciowanym, który należy uznać za materiał izolacyjny o najkorzystniejszych, z punktu widzenia potrzeb górnictwa, właściwościach.

Izolacja żył roboczych jest elementem, który w największym stopniu decyduje o parametrach eksploatacyjnych kabla oraz o jego trwałości. Podstawowym zadaniem izolacji jest zapewnienie odpowiedniej wytrzymałości elektrycznej, ale uwzględniając specyfikę górniczych (szczególnie dołowych) sieci elektroenergetycznych, duże znaczenie posiadają również inne parametry izolacji:

- temperatura dopuszczalna długotrwale i chwilowo, decydująca o wartości obciążalności prądowej długotrwalej i zwarciorowej,
- współczynnik przenikalności elektrycznej względnej, decydujący o pojemności doziemnej kabla a w konsekwencji o wartości prądu ziemnozwarciowego sieci,
- wartość rezystywności skrośnej w całym zakresie temperatur roboczych,
- parametry mechaniczne.

Wysoka wartość temperatury granicznej długotrwale izolacji z polietylenu usieciowanego, w porównaniu z innymi materiałami izolacyjnymi, sprawia, że obciążalność prądowa długotrwała takich kabli jest o ok. 30÷40 % wyższa. Zapewnia to możliwość zastosowania kabla o mniejszym przekroju żył roboczych, co poza korzystnymi efektami ekonomicznymi, poprawia właściwości ruchowe kabla (mniejsza masa, łatwiejsze układanie, większa giętkość itp.). Wyższa wartość temperatury dopuszczalnej przy zwarciu (250 °C dla izolacji z polietylenu usieciowanego) sprawia, że łatwiejsze do spełnienia mogą być wymagania odnośnie do

wytrzymałości zwarciowej, szczególnie przy stosowaniu zwłocnych zabezpieczeń nadmiarowoprądowych.

Z punktu widzenia zagrożeń elektrycznych w kopalniach bardzo istotna jest wartość pojemności doziemnej izolacji, decydująca w głównej mierze o wartości prądu zwarcia z ziemią w sieci IT oraz energii wydzielającej się w miejscu zwarcia. Również pod tym względem najkorzystniejsze cechy wykazuje izolacja z polietylenu usieciowanego, dla której współczynnik przenikalności elektrycznej względnej jest ponad dwukrotnie mniejszy niż dla izolacji polwinitowej. Z uwagi na fakt, że pojemność doziemna i prąd zwarcia z ziemią zależą również od grubości izolacji dla kabla o izolacji z polietylenu usieciowanego wartości te stanowią ok. 60 % wartości dla kabla o izolacji polwinitowej.

Parametry materiałów izolacyjnych stosowanych w kablach eksploatowanych w górnictwie przedstawiono w tab. 1 (wartości obciążalności i prądu ziemnozwarciowego podane są dla kabli o napięciu znamionowym 3,6/6 kV).

Tab. 1. Wartości temperatury dopuszczalnej długotrwale (ϑ_{dd}) i chwilowo (ϑ_{dz}), obciążalności prądowej długotrwałej I_{dd} , dopuszczalnej gęstości prądu zwarciowego J_{dl} , pojemności doziemnej jednostkowej c_j oraz prądu ziemnozwarciowego I_{zz}

Izolacja	ϑ_{dd}	ϑ_{dz}	$I_{dd}^{*)}$	J_{dl}	$c_j^{*)}$	$I_{zz}^{*)}$
	°C	°C	A	A/mm ²	µF/km	A/km
Papier	70	150	230	108	0,27 ^{**)}	0,88 ^{**)}
Polwinit	70	160	254	115	0,66	2,14
Polietylen termoplast.	70	130	254	95	0,43	1,42
Polietylen usieciowany	90	250	314	143	0,42	1,38

^{*)} wartości podane dla kabla o przekroju znamionowym żył roboczych 3×95 mm²

^{**)} wartości dla kabli bez ekranów indywidualnych

Dodatkową zaletą izolacji z polietylenu usieciowanego jest większa rezystancja izolacji a przede wszystkim mniejsza jej zmienność w zależności od temperatury. W przypadku polwinitu rezystancja izolacji spada nawet 1000-krotnie przy wzroście temperatury od 20 do 70 °C, natomiast dla polietylenu usieciowanego spadek ten jest tylko kilkudziesięciokrotny.

Do zalet izolacji polwinitowej należy zaliczyć w zasadzie jedynie większą odporność na narażenia mechaniczne (np. zgniatanie, uderzenia), jednakże czynnik ten nie ma decydującego znaczenia z uwagi na fakt, iż energia ewentualnego udaru mechanicznego jest pochłaniana głównie przez pozostałe elementy konstrukcyjne kabla (osłonę, pancerz i powłoki).

Ekranry indywidualne w kablach górniczych wykonywane są w postaci dwóch taśm miedzianych nawiniętych na izolację żył, przy czym w kablach o izolacji polietylenowej bezpośrednio na izolację wytłoczona jest dodatkowa warstwa z polietylenu półprzewodzącego (ewentualnie nakładany jest obwód z taśm półprzewodzących). Kable z ekranami indywidualnymi wyróżniane są oznaczeniem **H** w symbolu kabla. Ekranry indywidualne są uziemione (stanowią element SUPO) i w związku z tym pełnią jednocześnie funkcję żyły ochronnej w kablu. Zadaniem ekranów indywidualnych jest ograniczenie zagrożeń powodowanych eksploatacją kabli w wyjątkowo trudnych warunkach środowiskowych wyrobisk podziemnych. Zagrożenia te związane są głównie z możliwością wydostania się napięcia na zewnątrz kabla oraz wystąpienia zwarcia międzyfazowego w kablu. Do wydostania się napięcia na zewnątrz może dojść np. przy wbiciu do kabla ostrego, metalowego przedmiotu (np. drutu strzałowego), co stwarza przede wszystkim zagrożenie porażeniowe. Z kolei zwarcie międzyfazowe, do którego dochodzi przy jednoczesnym uszkodzeniu izolacji dwóch względnie trzech faz, praktycznie zawsze może

przewodzący do wydostania się łuku elektrycznego na zewnątrz kabla. Przeprowadzone badania wykazują, że stosowane zabezpieczenia nadmiarowoprądowe nie zapobiegają skutecznie temu zdarzeniu ze względu na to, że wyrzut łuku (iskier) na zewnątrz kabla może nastąpić już po $5 \div 20$ ms od chwili zwarcia (czas wyłączenia zwarcia jest z reguły dłuższy). Łuk elektryczny może stwarzać zagrożenie pożarowe i wybuchowe, a także urazowe i oparzeniowe dla osób przebywających w pobliżu. Ww. zagrożenia mogą być z znacznym stopniem ograniczone dzięki wyłączeniu kabla spod napięcia we wczesnej fazie rozwijającego się uszkodzenia. W kablach z uziemionymi ekranami indywidualnymi już w momencie uszkodzenia izolacji jednej fazy powstaje doziemienie (powodujące znacznie mniejsze zagrożenia niż zwarcie międzyfazowe), które powinno zostać wyłączone wskutek zadziałania zabezpieczenia ziemnozwarciowego lub upływowego. Zgodnie z rozporządzeniem [2], zakres obowiązkowego stosowania kabli ekranowanych obejmuje:

- instalacje eksploatowane w polach metanowych,
- instalacje eksploatowane w pokładach zagrożonych tapaniami,
- instalacje zasilające maszyny i urządzenia o napięciu powyżej 1 kV w szwach przewietrzanych wentylacją odrębną,
- instalacje kompleksu ścianowego o napięciu powyżej 1 kV.

Powłoka w kablach górniczych obecnie najczęściej wykonywana jest jako dwuwarstwowa, przy czym warstwa wewnętrzna wykonywana jest z materiału, który posiada zdolność absorbowania energii uderzeń mechanicznych (może to być np. guma niewulkanizowana), natomiast powłoka właściwa wykonywana jest polwinitu (oznaczenie *Y* w symbolu kabla). Innym stosowanym rozwiązaniem jest wytłoczenie na ośrodek (skręcone ze sobą izolowane, ewentualnie ekranowane żyły) powłoki jednowarstwowej z polwinitu, który w tym przypadku wypełnia również wnęki między izolowanymi żyłami. Wadą takiego rozwiązania, poza mniejszą odpornością na uderzenia mechaniczne, jest utrudniona obróbka kabla i możliwość uszkodzenia izolacji przy usuwaniu powłoki (w powłoce dwuwarstwowej warstwa wewnętrzna wykonywana jest z materiału, który daje się łatwo usunąć). Zadaniem powłoki jest ochrona ośrodka kabla przed szkodliwym wpływem środowiska, głównie wilgoci. W kablach starszej konstrukcji stosowana była powłoka ołowiana, jednak ze względu na przedstawione wcześniej wady, kable takie nie powinny być stosowane w nowych instalacjach.

Ekran ogólny w kablach wykonywany są podobnie do ekranów indywidualnych, tzn. w formie obwoju z dwóch taśm miedzianych, lecz nawiniętego na powłokę. W kablach bez ekranów indywidualnych ekran ogólny pełni funkcję żyły ochronnej, przy czym należy podkreślić, że ekran ogólny w zasadzie nie ogranicza możliwości powstania zwarcia międzyfazowego w kablu. Z tego względu kable takie nie zalicza się (w rozumieniu przepisów) do kabli ekranowanych. Warto zaznaczyć, że dla uniknięcia nieporozumień, w oznaczeniu kabli bez ekranów indywidualnych obecność ekranu ogólnego nie jest wyróżniana. W kablach, które posiadają ekran indywidualny obecność ekranu ogólnego oznaczana jest w symbolu kabla literami *ek*. Z reguły obydwa ekrany są uziemione (przyłączone do SUPO), zaletą takiego rozwiązania jest zmniejszenie wypadkowej rezystancji sieci ochronnej. Przy szczególnie dużych zagrożeniach (np. prowadzenie kabla SN w wyrobiskach przewietrzanych wentylacją odrębną w warunkach dużego zagrożenia metanowego), ekran ogólny może pełnić funkcję ekranu kontrolnego, tzn. jest odizolowany od SUPO. Zastosowanie odpowiedniego układu kontrolnego, jakim może być człon „B” zabezpieczenia ziemnozwarciowego, pozwala na ograniczenie możliwości powstania zwarcia doziemnego w kablu. Układ taki powoduje wyłączenie kabla wskutek doziemienia ekranu ogólnego już przy uszkodzeniu osłony zewnętrznej uziemionym przedmiotem lub przy zgnieceniu powłoki, do czego może dochodzić przy typowych uszkodzeniach mechanicznych. Dużą wadą tego rozwiązania, w dużej mierze ograniczającą zakres jego stosowania, jest znaczący spadek pewności ruchowej. Spowodowane jest to możliwością występowania częstych, nieuzasadnionych względami bezpieczeństwa, wyłączeń powodowanych zmniejszeniem rezystancji osłony zewnętrznej. Zgodnie z rozporządzeniem [2] kable i przewody oponowe

stosowane w instalacjach o napięciu znamionowym powyżej 1 kV zasilających maszyny przodkowe powinny posiadać dwa ekrany, przy czym ekran ogólny powinien pełnić funkcję kontrolną.

Kable instalowane w wyrobiskach pionowych i u nachyleniu powyżej 45° powinny mieć budowę przystosowaną do montażu w uchwytach samozaciskowych, co w praktyce oznacza, że powinny posiadać pancerz, którego zadaniem jest przede wszystkim zwiększenie wytrzymałości kabla na siły rozciągające. W kablach górniczych pancerze wykonuje się z ocynkowanych drutów stalowych płaskich (symbol **Fp**) lub okrągłych (**Fo**). Produkowane są także kable z pancerzem wykonanym z taśm stalowych (**Ft** oraz **Ftl** w przypadku taśm lakierowanych), jednakże jak wykazują doświadczenia eksploatacyjne i badania pancerz taki w niewielkim stopniu zwiększa wytrzymałość mechaniczną kabla, natomiast może przyczyniać się do uszkodzeń osłony zewnętrznej. Z powyższych względów stosowanie kabli opancerzonych wyłącznie taśmami stalowymi nie jest zalecane.

Kable przeznaczone do pracy w wyrobiskach o dużym narażeniach wodnych mogą być wyposażone uszczelnienie, które zapobiega migracji wody (wilgoci) w kable. Wyróżnia się przy tym uszczelnienie:

- wzdłużne (oznaczenie **U**) w postaci taśmy nasączonej środkiem pęczniącym po wpływie wody i wilgoci; uszczelnienie to zapobiega przemieszczaniu się wody w kable na znaczne odległości (szczególnie w kablach prowadzonych w szybach i wyrobiskach o dużych nachyleniu),
- radialne (oznaczenie **R**) w postaci taśmy aluminiowej (rzadziej miedzianej) sklejonej z powłoką; uszczelnienie to zapobiega przedostawaniu się wody do ośrodka kabla.

Zewnętrzna osłona ochronna (antykorozyjna) kabli wykonywana jest z polwinitu, przy czym, zgodnie z [2], osłona powinna trudnozapalna i samogasnąca (oznaczenie **yn** w symbolu kabla). Oznacza to, że polwinit, z którego wykonana jest osłona, powinien charakteryzować się wskaźnikiem tlenowym równym co najmniej 29, a dodatkowo ogień nie może się rozprzestrzeniać wzdłuż kabla, co mogłoby powodować przenoszenie się ewentualnego pożaru do sąsiednich wyrobisk. Osłona ochronna kabli o napięciu znamionowym powyżej 1 kV barwiona jest na kolor czerwony, natomiast w kablach niskonapięciowych na kolor żółty. W kablach sygnalizacyjnych na napięcie poniżej 1000 V (np. 150/250 V lub 300/500 V) oraz w kablach telekomunikacyjnych dopuszcza się stosowanie innych barw osłony (powłoki) zewnętrznej np. niebieskiej, szarej lub czarnej.

1.3. Prowadzenie linii kablowych w wyrobiskach

Linie kablowe w wyrobiskach prowadzone są głównie wzdłuż ociosów. W wyrobiskach poziomych i o nachyleniu do 45° kable zawieszane są na wieszakach kablowych w odstępach nie większych niż 3 m. Konstrukcja wieszaka powinna spełniać następujące wymagania [3]:

- powierzchnia wieszaka, na której spoczywa kabel powinna być odpowiednio duża w celu ograniczenia deformacji kabla po wpływie jego ciężaru; stosowane w niektórych kopalniach haki w kształcie litery „S” (tzw. „S-haki”) wykonane z prętów o niewielkiej średnicy należy zastępować wieszakami, w których szerokość części podporowej jest nie mniejsza niż średnica zewnętrzna kabla,
- wieszaki nie powinny posiadać ostrych krawędzi, które mogłyby powodować uszkodzenia osłony zewnętrznej w trakcie układania kabla,
- konstrukcja wieszaka powinna być taka, aby ograniczyć możliwość wypadnięcia kabla z uchwytu (głębokość części podporowej powinna być większa od średnicy kabla),
- w przypadku stosowania kabli z ekranem ogólnym kontrolnym zalecane jest pokrycie części podporowej materiałem izolacyjnym dla uniknięcia nieuzasadnionych wyłączeń spowodowanych zmniejszeniem rezystancji osłony,

- materiał, z którego wykonywane są wieszaki powinien być trudnopalny, a elementy metalowe zabezpieczone przed korozją.

W przypadku prowadzenia na jednym wieszaku kabli o różnym przeznaczeniu, powinny być one rozmieszczone w sposób zapewniający zminimalizowanie negatywnych oddziaływań pomiędzy kablami podczas stanów zakłóceń. Kable powinny być ułożone tak, aby najniżej znajdowały się telekomunikacyjne i sygnalizacyjne a najwyżej kable na napięcie powyżej 1 kV. Kable instalowane w wyrobiskach pionowych i o nachyleniu powyżej 45° powinny być mocowane w uchwytach samozaciskowych w odstępach nie większych niż 6 m. Dopuszcza się również prowadzenie kabli w otworach pionowych lub poziomych, przy czym otwory powinny być zabezpieczone rurami stalowymi a w otworach pionowych kable (opancerzone) muszą być mocowane do liny nośnej w odstępach nie większych niż 6 m. Dodatkowo otwory powinny być zasypane lub zaślepię oraz uszczelnione materiałem niepalnym na wlocie i wylocie [2].

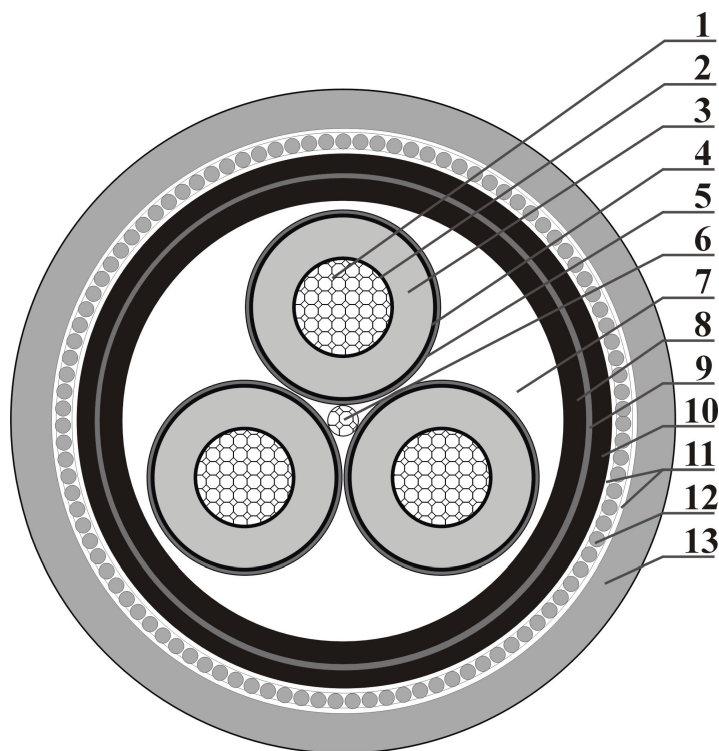
1.4. Typowe konstrukcje kabli górniczych i ich zastosowanie w wyrobiskach

Kable nieekranowane mogą być stosowane (zgodnie z [2]) wyłącznie w wyrobiskach w polach niemietanowych. Należy jednak zaznaczyć, że z uwagi na większe bezpieczeństwo eksploatacji, zalecane jest (mimo braku formalnego wymogu) stosowanie we wszystkich pomieszczeniach kabli ekranowanych. Jako kable nieekranowane, tzn. bez ekranów indywidualnych, produkowane są wyłącznie kable o izolacji polwinitowej, zarówno na napięcie 0,6/1 kV jak i 3,6/6 kV. Do tej grupy można zaliczyć kable typu YKGYyn, YKGYFoyn lub YKGYFoyn.

Jak już zaznaczono wcześniej, w szybach oraz w wyrobiskach o dużym nachyleniu należy stosować kable opancerzone. Jako najbardziej przydatne do stosowania w tych warunkach należy uznać kable typu YHKGXSFoyn i YHKGXSFpyn a przy dużym narażeniu wodnym YUHKGXSFoyn i YUHKGXSFpyn.

W wyrobiskach poziomych i o nachyleniu do 45° zaleca się stosowanie kabli typu YHKGXSekyn a w wyrobiskach mokrych kabli z uszczelnieniem wzdłużnym YUHKGXSekyn (przy ekstremalnie dużym narażeniu wodnym można stosować kable z dodatkowym uszczelnieniem radialnym typu YRUHKGXSekyn). W wyrobiskach o dużych narażeniach mechanicznych, np. w końcowych odcinkach sieci, w pobliżu przodków eksploatacyjnych, korzystne może być zastosowanie kabli podobnej konstrukcji, lecz o izolacji wykonanej z polwinitu, np. typu YHKGYekyn lub YUHKGYekyn.

Jako przykład budowy kabla, na rys. 1 przedstawiono konstrukcję kabla typu YUHKGXSekFoyn 3,6/6 kV.



Rys.1. Konstrukcja kabla górniczego typu YUHKGXSekFoy 3,6/6 kV

- | | |
|---|--|
| 1. Żyłka robocza (druty miedziane) | 8. Powłoka (polwinit powłokowy) |
| 2. Ekran na żyłkę (polietylen przewodzący) | 9. Ekran ogólny (obwód z taśm miedzianych) |
| 3. Izolacja (polietylen usieciowany) | 10. Powłoka rozdzielająca (polwinit powłokowy) |
| 4. Ekran niemetaliczny na izolacji (polietylen przewodzący) | 11. Uszczelnienie wzdłużne (taśmy pęczniące) |
| 5. Ekran indywidualny (obwód z taśm miedzianych) | 12. Pancerz (druty stalowe okrągłe) |
| 6. Rdzeń (druć lub linka miedziana) | 13. Osłona (polwinit powłokowy trudnopalny) |
| 7. Powłoka wypełniająca (guma niewulkanizowana) | |

2. Górnicze przewody oponowe

2.1. Ogólne wymagania stawiane górnicyz przewodom oponowym

Przewody oponowe górnicyz przeznaczone są głównie do zasilania odbiorników ruchomych i ręcznych, a także przewoźnych i przenośnych. Urządzenia takie użytkowane są przede wszystkim w przodkach eksploatacyjnych lub w ich bezpośredniej bliskości, co stwarza wysokie wymagania, głównie odnośnie do odporności mechanicznej przewodów przy jednoczesnym zachowaniu odpowiedniej giętkości. Przewody oponowe należą do elementów sieci elektroenergetycznej o największym narażeniu na uszkodzenia mechaniczne (poddawane mogą być siłom rozciągającym, skręcającym, udom mechanicznym itp.) a jednocześnie ograniczona jest możliwość stosowania w ich konstrukcji elementów zwiększających wytrzymałość. Dodatkowo, przewody oponowe, szczególnie zasilające maszyny ruchome i urządzenia ręczne, powinny mieć konstrukcję zapewniającą ograniczanie zagrożeń powodowanych ich eksploatacją, głównie porażeniowego i wybuchowego. W zakresie wymagań konstrukcyjnych dotyczących górnicyz przewodów oponowych aktualne są polskie normy PN-E/90140÷90144 jednakże z uwagi na fakt, że zostały one opracowane prawie 20 lat temu, wymagania w nich zawarte są w znacznym stopniu niekompletne. Dotyczy to przede wszystkim sposobu wykonywania ekranów oraz budowy ośrodka przewodu.

2.2. Elementy konstrukcyjne górniczych przewodów oponowych

Z uwagi na wymaganą giętkość, żyły w przewodach oponowych wykonywane są jako wielodrutowe klasy 5 lub 6 wg [1], o średnicy drutów miedzianych od 0,16 do 0,51 mm. Żyły robocze są wykonywane jako nieocynowane lub ocynowane (pokryte stopem cyny i ołowiu). Przekrój znamionowy żył roboczych produkowanych przewodów oponowych dla górnictwa wynosi od 1 do 95 mm² (wyjątkowo do 120 mm²). Poza żyłami roboczymi, przewody oponowe posiadają z reguły żyły pomocnicze (od 1 do 7), które wykorzystywane mogą w obwodach sterowania, do kontroli ciągłości żyły ochronnej itp. Przekrój żył pomocniczych wynosi od 1 do 6 mm², przy czym wykonywane są one zwykle z drutów ocynowanych. Żyła ochronna wykonywana może być jako nieizolowana, umieszczona w osi przewodu lub w postaci ekranów indywidualnych, przy czym w obydwu przypadkach wykonywana jest z drutów miedzianych ocynowanych. Jako materiał na izolację żył roboczych przewodów oponowych stosowana jest guma zwykła (oznaczenie IZ), guma butylowa (IB), guma etylenowo-propylenowa (IEP) lub polwinit. W produkowanych obecnie górniczych przewodach oponowych izolacja z gumy zwykłej oraz butylowej została prawie całkowicie wyparta przez gumę etylenowo-propylenową. Aby ułatwić oddzielanie izolacji od żyły roboczej, a także ograniczyć niepożądane oddziaływanie chemiczne związków zawartych w gumie na miedź, często pomiędzy tymi elementami stosuje się folię separacyjną. Przewody o izolacji polwinitowej przeznaczone są głównie do zasilania instalacji wiertarkowych i oświetleniowych, natomiast spośród materiałów izolacyjnych na bazie gumy za najbardziej przydatną z punktu widzenia potrzeb górnictwa należy uznać gumę etylenowo-propylenową. W porównaniu z innymi materiałami guma IEP charakteryzuje się wyższą temperaturą dopuszczalną długotrwale (90 °C) i chwilowo (250 °C), co zapewnia wyższą obciążalność prądową długotrwale i zwarciovą przewodów.

Ekranu indywidualne w przewodach oponowych wykonuje się w postaci:

- oplotu z drutów miedzianych i włókna,
- obwoju z drutów miedzianych,
- powłoki z mieszanki przewodzącej na bazie gumy (przewody o izolacji gumowej) lub polwinitu (przewody o izolacji polwinitowej).

Z uwagi na wymagania dotyczące zachowania odpowiedniego stopnia krycia ekranem powierzchni zewnętrznej izolacji, ekran wykonywany w postaci obwoju należy uznać za nieodpowiedni, szczególnie w przewodach do zasilania urządzeń ruchomych i ręcznych (podczas eksploatacji może dojść do rozsunienia się drutów obwoju i odsłonięcia większej powierzchni izolacji). Do zalet ekranów z mieszanki przewodzącej zalicza się wysoki (100 %) stopień krycia izolacji, odporność na przeginięcie i korozję oraz łatwość odtwarzania podczas regeneracji przewodu. Z uwagi na wyższą rezystywność mieszanki przewodzącej istotnym parametrem tych ekranów jest rezystancja przejścia, definiowana jako maksymalna rezystancja pomiędzy dowolnym punktem ekranu a żyłą ochronną. Wartość rezystancji przejścia nie może przekraczać 4 kΩ, co zapewnia prawidłową współpracę z urządzeniami kontroli stanu izolacji w sieciach niskonapięciowych. Ekranu ogólne stosowane są w przewodach oponowych o napięciu znamionowym 3,6/6 kV – w instalacjach zasilających maszyny przodkowe ekrany te pełnią funkcję kontrolną. Jak już wcześniej wspomniano, stosowanie elementów zwiększających wytrzymałość mechaniczną przewodów oponowych jest ograniczone wymaganiami dotyczącymi giętkości. Do elementów wzmacniających można zaliczyć oploty wykonane z tworzywa sztucznego o wysokiej wytrzymałości (np. z włókien poliamidowych w przewodach typu O2nGcekż-G, aramidowych w przewodach OnZGcekż-GW(A)) lub z linek stalowych (przewody OnZGcekż-G). Przewody oponowe, w których obliczeniowa siła zrywająca oplot jest nie mniejsza od 40 kN (np. OnZGcekż-GW(A) i OnZGcekż-G) mogą być stosowane do zasilania kombajnów ścianowych bez użycia układowego kablowego.

Opony w przewodach górniczych są wykonywane z gumy polichloroprenowej lub z polwinitu. Guma polichloroprenowa cechuje się dobrymi parametrami mechanicznymi, m.in. odpornością na ścieranie i rozdieranie oraz na działanie chemikaliów. Dużą zaletą jest również jej

trudnopalność, natomiast do wad tego materiału należy zaliczyć dużą chłonność wody. Z powyższego względu, w pomieszczeniach o dużych narażeniach wodnych, zalecane jest stosowanie przewodów oponowych z uszczelnieniem wzdłużnym, które wykonywane jest z taśmy pęczniejącej pod wpływem wody i wilgoci umieszczonej na ośrodku przewodu.

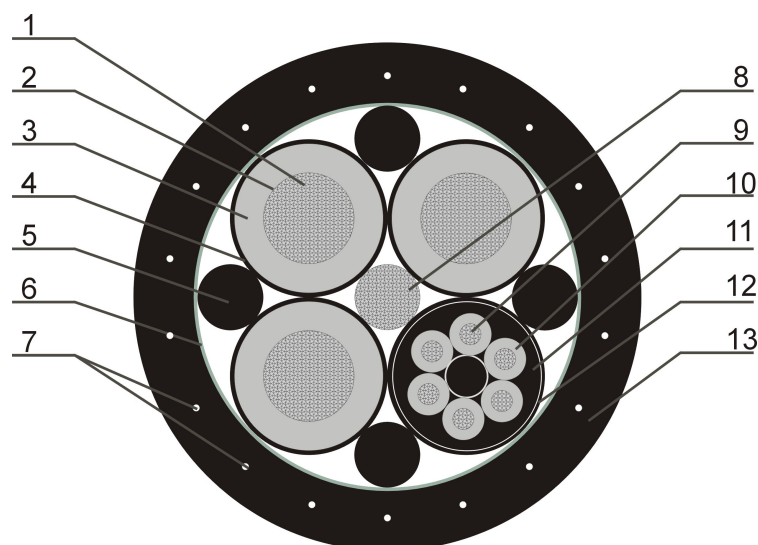
2.3. Typowe rozwiązania konstrukcyjne górniczych przewodów oponowych

Podstawowym typem górniczych przewodów oponowych o izolacji i oponie gumowej jest przewód OnGcekż-G na napięcie znamionowe 0,6/1 kV. Przewód ten może być stosowany do m.in. zasilania kombajnów ścianowych i chodnikowych, przenośników i innych urządzeń pracujących w trudnych warunkach środowiskowych. Przewód posiada izolację z gumy etylenowo-propylenowej (**Gc**), ekrany indywidualne w postaci oplotu z drutów miedzianych i włókna (**ekż**) oraz oponę z gumy polichloroprenowej trudnopalnej (**On**). Liczbę i przekroje żył produkowanych przewodów przedstawiono w tabeli 2. W przypadku ekranów indywidualnych wykonywanych w postaci oplotu nakładanego bezpośrednio na izolację, współczynnik krycia drutów miedzianych ekranu powinien wynosić 65 %, natomiast jeżeli bezpośrednio na izolacji znajduje się dodatkowa warstwa wykonana np. z taśmy półprzewodzącej, dopuszcza się zmniejszenie współczynnika krycia do 30 %.

Tabela 2. Liczba i przekroje żył przewodów oponowych typu OnGcekż-G

Liczba i przekrój żył [mm ²]		
roboczych	ochronnej	pomocniczych
3×16	10	3×1,5
3×25	16	3×2,5
3×35	16	3×2,5 lub 6×2,5
3×50	25	3×4 lub 6×2,5
3×70	35	3×4 lub 6×2,5 lub 6×4
3×95	35	3×4 lub 6×4
3×120	50	6×4

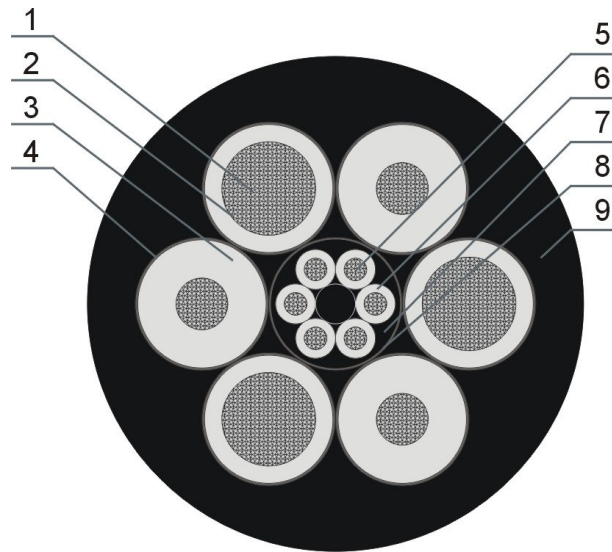
Podobną konstrukcją charakteryzuje się przewód typu OnGcekż-G, w którym ekrany indywidualne wykonane są z gumy przewodzącej (**ekgż**). Warstwa gumy przewodzącej o rezystywności nie większej niż 1000 Ω·cm powinna mieć grubość co najmniej 0,8 mm. Przewody typu O2nGcekż-G i O2nGcekż-G posiadają oponę dwuwarstwową (**O2n**) wzmocnioną oplotem z włókien poliamidowych, dzięki czemu cechują się wyższą odpornością na siły rozciągające i moment skręcający. Oplot powinien być wykonany z co najmniej 18 włókien o wytrzymałości na zerwanie nie mniejszej niż 70 N na jedno włókno. Konstrukcję przewodu typu O2nGcekż-GW, który dodatkowo posiada taśmę uszczelnienia wzdłużnego (**W**) przedstawia rys. 2. Taśma uszczelniająca powinna charakteryzować się wysokością pęcznienia równa co najmniej 5 mm.



Rys. 2. Konstrukcja górniczego przewodu oponowego typu O2nGcekż-GW

1. Żyła robocza (druty miedziane)
2. Separator na żyłę roboczej (folia poliestrowa)
3. Izolacja żyły roboczej (guma etylenowo-propylenowa)
4. Ekran indywidualny żył roboczych (guma przewodząca)
5. Wkładki wypełniające (guma)
6. Uszczelnienie wzdłużne (taśma pęczniąca pod wpływem wody i wilgoci)
7. Oplot wzmacniający oponę (włókna poliamidowe)
8. Żyła ochronna (druty miedziane ocynowane)
9. Żyła pomocnicza (druty miedziane ocynowane)
10. Izolacja żyły pomocniczej (guma etylenowo-propylenowa)
11. Powłoka żył pomocniczych (guma)
12. Ekran żył pomocniczych (guma przewodząca)
13. Opona zewnętrzna dwuwarstwowa (guma polichloroprenowa trudnopalna)

Charakterystyczną odmianę górniczych przewodów oponowych stanowią przewody z dwoma układami żył roboczych (oznaczenie **-G2** na końcu symbolu przewodu). Przewody te przeznaczone są głównie do zasilania silników dwubiegowych, względnie maszyn o dużej mocy (np. kombajny ścienne) ze względu na dużą sumaryczną obciążalność obydwu torów prądowych. Przewody te produkowane są w odmianach z oponą jednowarstwową (OnGcekż-G2) i dwuwarstwową z oplotem wzmacniającym (O2nGcekż-G2). Dostępne wykonania (tabela 3) obejmują przewody o takim samym przekroju znamionowym żył roboczych obydwu układów (np. $6 \times 95 \text{ mm}^2$) oraz takie, w których przekrój żył I układu różni się od przekroju żył II układu (np. $3 \times 50 + 3 \times 25 \text{ mm}^2$). Z uwagi na wymaganą symetrię ułożenia, żyły robocze obydwu torów prądowych rozmieszczone są naprzemiennie. Ośrodek żył pomocniczych usytuowany jest centralnie w osi przewodu, natomiast żyłę ochronną tworzą elementy metaliczne ekranów indywidualnych. Konstrukcję przewodu OnGcekż-G2 przedstawia rys. 3.



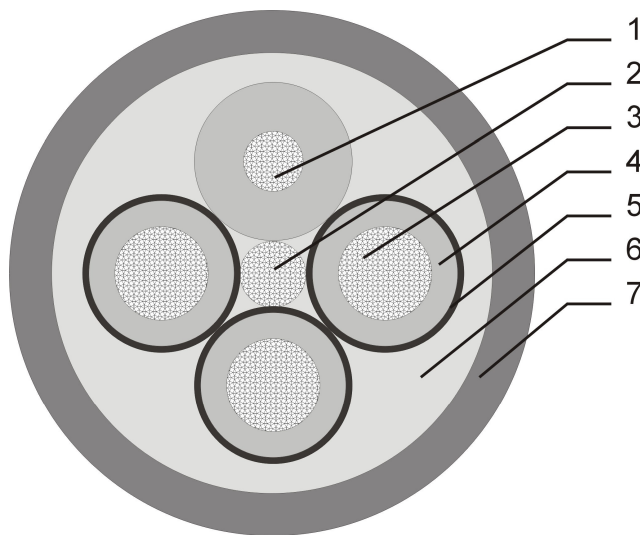
Rys. 3. Konstrukcja górniczego przewodu oponowego typu OnGceKż-G2

1. Żyłą roboczą (druty miedziane)
2. Separator na żyły roboczej (folia poliestrowa)
3. Izolacja żyły roboczej (guma etylenowo-propylenowa)
4. Ekran indywidualny żył roboczych (oplót z drutów miedzianych ocynowanych i włókna)
5. Żyłą pomocniczą (druty miedziane ocynowane)
6. Izolacja żyły pomocniczej (guma etylenowo-propylenowa)
7. Powłoka żył pomocniczych (guma)
8. Ekran żył pomocniczych (oplót z drutów miedzianych ocynowanych i włókna)
9. Opona zewnętrzna (guma polichloroprenowa trudnopalna)

Tabela 3. Liczba i przekroje żył przewodów oponowych typu OnGceKż-G2 i O2nGceKż-G2

Liczba i przekrój znamionowy żył, [mm ²]			
roboczych I układu	roboczych II układu	ochronnej	pomocniczych
3×35	3×25	16	3×4 lub 6×2,5
3×35	3×35	16	3×4 lub 6×2,5
3×50	3×16	25	3×4 lub 6×2,5
3×50	3×25	25	3×4 lub 6×2,5
3×50	3×35	25	3×4 lub 6×2,5
3×50	3×50	25	3×4 lub 6×2,5
3×70	3×16	25	3×4 lub 6×2,5 lub 6×4
3×70	3×25	25	3×4 lub 6×2,5 lub 6×4
3×70	3×35	25	3×4 lub 6×2,5 lub 6×4
3×70	3×50	25	3×4 lub 6×2,5 lub 6×4
3×70	3×70	25	3×4 lub 6×2,5 lub 6×4
3×95	3×95	25	3×4 lub 7×4

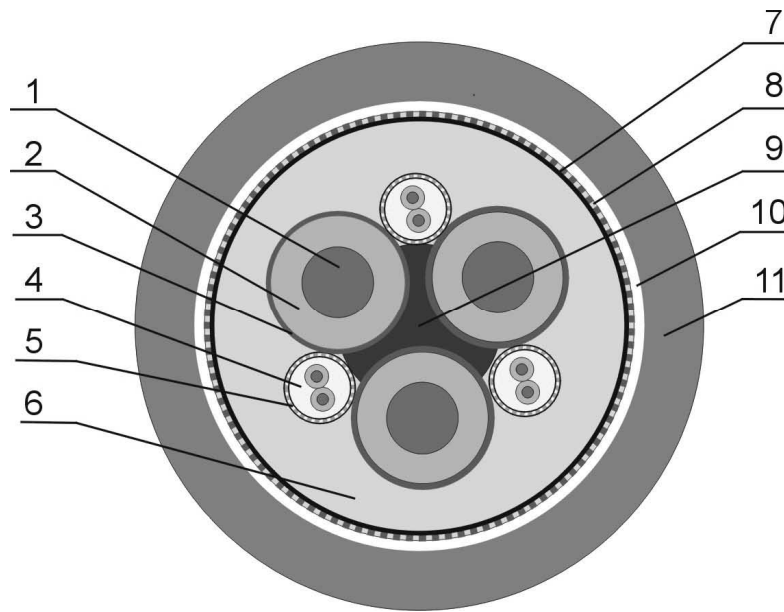
Do zasilania urządzeń o niewielkiej mocy znamionowej (np. wiertarki, instalacje oświetleniowe) najczęściej stosowane są przewody o izolacji i oponie polwinitowej. Wykonywane są one w wersji pięcizożyłowej i siedmiożyłowej (odpowiednio z jedną i trzema żyłami pomocniczymi), głównie w zakresie niewielkich przekrojów znamionowych żył roboczych (od 2,5 do 10 mm²). Przewody wykonywane są jako nieekranowane (YnOGY) oraz z ekranami indywidualnymi wykonanymi w postaci oplotu z drutów miedzianych i włókien (YnHOGY i YnOGYekm) lub powłoki z polwinitu półprzewodzącego (YnOGYek). Budowa przewodu pięcizożyłowego YnHOGY przedstawiona jest na rys. 4.



Rys. 4. Konstrukcja górniczego przewodu oponowego typu YnHOGY

1. Żyłka pomocnicza (druty miedziane ocynowane)
2. Żyłka ochronna (druty miedziane ocynowane)
3. Żyłka robocza (druty miedziane ocynowane)
4. Izolacja (polwinit)
5. Ekran indywidualny (oplot z drutów miedzianych i włókna)
6. Opona wewnętrzna (polwinit)
7. Opona zewnętrzna (polwinit oponowy)

Przewody oponowe zasilające maszyny przodkowe o napięciu powyżej 1 kV powinny (zgodnie z [2] i [4]) posiadać dwa ekrany – indywidualny (ochronny) oraz ogólny (kontrolny). W polskim górnictwie stosowane są w tym zakresie przewody oponowe na napięcie znamionowe 3,6/6 kV produkcji krajowej typu OnGcekż/w-G (wykonywane również w wersji z uszczelnieniem wzdłużnym i/lub z oponą dwuwarstwową z oplotem wzmacniającym) oraz przewody produkowane przez firmę PRYSMIAN (poprzednio PIRELLI) typu PROTOMONT NTSKCGECWÖU. Konstrukcję przewodu OnGcekż/w-GW przedstawiono na rys. 5. Żyłę ochronną tworzą elementy metaliczne ekranów indywidualnych, żyły pomocnicze umieszczone są we wnękach pomiędzy żyłami roboczymi, natomiast w osi przewodu znajduje się wkładka wykonana z gumy półprzewodzącej. Ekran ogólny w tych przewodach wykonywany jest jako dwuelementowy w postaci oplotu z drutów miedzianych (o sumarycznym przekroju nie mniejszym niż 6 mm²) nałożonego na warstwę gumy przewodzącej wytłoczoną na powłokę wewnętrzną. Linie wykonane tymi przewodami powinny być zabezpieczane odpowiednimi urządzeniami kontrolno-ochronnymi, monitorującymi rezystancję pomiędzy ekranami. Liczbę i przekrój żył produkowanych przewodów zestawiono w tabeli 4.



Rys. 5. Konstrukcja górniczego przewodu oponowego typu OnGceż/w-GW na napięcie znamionowe 3,6/6 kV

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Żyła robocza | 7. Warstwa gumy półprzewodzącej |
| 2. Izolacja | 8. Ekran ogólny |
| 3. Ekran indywidualny żył roboczych | 9. Wkładka centralna |
| 4. Izolowane żyły pomocnicze w powłoce | 10. Uszczelnienie wzdłużne |
| 5. Ekran indywidualny żył pomocniczych | 11. Opona |
| 6. Powłoka wewnętrzna | |

Tabela 4. Liczba i przekroje żył przewodów oponowych typu OnGceż/w-G, OnGceż/w-GW, O2nGceż/w-G i O2nGceż/w-GW

Liczba i przekrój znamionowy żył [mm ²]		
roboczych	ochronnej	pomocniczych
3×25	16	3×2,5 lub 3×2×2,5
3×35	16	3×2,5 lub 3×2×2,5
3×50	25	3×2,5 lub 3×2×2,5
3×70	25	3×4 lub 3×2×4 lub 3×2×6
3×95	35	3×4 lub 3×2×4 lub 3×2×6
3×120	35	3×4 lub 3×2×4 lub 3×2×6

Literatura

1. PN-EN 60228:2007 *Żyły przewodów i kabli*
2. 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)
3. Boron W., Wnuk A.: *Elektroenergetyczne linie kablowe w wyrobiskach podziemnych zakładów górniczych*. Poradniki – instrukcje EMAG. Katowice, 2004.
4. PN-G-42070:2001 *Elektroenergetyka kopalniana – Sieci elektroenergetyczne o napięciu znamionowym powyżej 1 kV zasilające maszyny przodkowe*.
5. PN-E-90140:1989 Przewody elektroenergetyczne o izolacji i oponie gumowej do górniczych odbiorników ruchomych i przenośnych - Wymagania i badania.
6. Boron W., Wnuk A.: *Elektroenergetyczne linie kablowe w wyrobiskach podziemnych zakładów górniczych*. Poradniki – instrukcje EMAG. Katowice, 2004.