

Sergiusz BORON
Politechnika Śląska, Gliwice

NOWOCZESNE GÓRNICZE KABLE I PRZEWODY OPONOWE – WYMAGANIA I BUDOWA

Streszczenie. W artykule przedstawiono tendencje w zakresie budowy górniczych kabli i przewodów oponowych. Podano ważniejsze wymagania przepisów odnośnie do budowy i eksploatacji przewodów. Szczególną uwagę zwrócono na aspekty związane z bezpieczeństwem użytkowania przewodów w wyrobiskach podziemnych zakładów górniczych.

MODERN MINING POWER CABLES – REQUIREMENTS AND DESIGN

Summary. The article presents the latest developments in mining power and flexible cable design. The most important requirements concerning design and usage of cables has been cited. Some aspects tied to the safety of usage of cables in underground mines has been highlighted.

1. Wstęp

Zmiany zachodzące w ostatnim okresie w górnictwie węgla kamiennego, postępująca restrukturyzacja oraz tendencja do koncentracji wydobycia tworzą nową sytuację odnośnie do wymagań stawianych elektroenergetycznym kablom i przewodom oponowym górniczym. Zwiększone wymagania dotyczące bezpieczeństwa eksploatacji oraz pewności ruchowej, a także aspekty ekonomiczne (konkurencja) zmuszają producentów przewodów do opracowywania coraz to nowszych konstrukcji. Z tego względu w ostatnich latach w krajowych fabrykach kabli i przewodów oponowych realizowano szeroki program inwestycyjny, dzięki czemu kablownie te potrafią sprostać wymaganiom nie tylko polskiego, ale i światowego rynku.

W niniejszym referacie przedstawiono ważniejsze tendencje w zakresie budowy poszczególnych elementów konstrukcyjnych przewodów, opisano również wybrane nowoczesne konstrukcje górniczych kabli i przewodów oponowych. Przedstawiono ponadto ważniejsze wymagania przepisów odnośnie do budowy górniczych sieci elektroenergetycznych.

2. Nowoczesne materiały izolacyjne

W obecnie produkowanych kablach górniczych stosuje się izolację wykonaną z polwinitu (PVC) lub polietylenu usieciowanego (XLPE). Z punktu widzenia właściwości elektrycznych najodpowiedniejsza do zastosowań w wyrobiskach jest izolacja wykonana z polietylenu usieciowanego. Wynika to przede wszystkim z wysokiej wartości temperatury dopuszczalnej długotrwałe (90°C), co wpływa na zwiększoną (o ok. 20%) obciążalność prądową długotrwałą w porównaniu z kablami o izolacji polwinitowej. Dodatkową zaletą tych kabli jest niewielka wartość pojemności doziemnej, powodująca zmniejszenie wartości prądów ziemnozwarciowych nawet o 70%, co jest istotne zwłaszcza w sieciach o napięciu powyżej 1 kV. W rozporządzeniu [1] (§ 621) oraz normie [4] zapisany jest wymóg ograniczenia pojemności doziemnej sieci zasilających kompleksy ścianowe napięciem powyżej 1 kV do wartości $2,5 \mu\text{F}$, co w przypadku sieci o większej rozległości wymusza stosowanie kabli o izolacji XLPE.

Kolejną korzystną właściwością izolacji z polietylenu usieciowanego jest niewielka zmienność jej rezystancji z temperaturą. O ile w zakresie temperatur, do których może się nagrzać izolacja podczas eksploatacji kabla, rezystancja izolacji polwinitowej może spaść nawet 1000-krotnie, to rezystancja izolacji polietylenowej zmniejsza się zaledwie kilkudziesięciokrotnie. Z punktu widzenia właściwości mechanicznych, nieco lepszymi parametrami charakteryzuje się izolacja wykonana z polwinitu, jednakże z uwagi na fakt, że o wytrzymałości całego kabla decydują głównie inne jego elementy konstrukcyjne (np. pancierz), wytrzymałość mechaniczna samej izolacji nie ma decydującego znaczenia. Reasumując, najbardziej zalecane są kable o izolacji wykonanej z polietylenu termoplastycznego, a w wyrobiskach o szczególnie dużych narażeniach mechanicznych z izolacją polwinitową. Produkowane do niedawna kable o izolacji wykonanej z polietylenu

termoplastycznego wychodzą z użycia, co spowodowane jest głównie niską odpornością tej izolacji na działanie prądów zwarciovych oraz dużą awaryjnością.

W zakresie przewodów oponowych podstawowym materiałem izolacyjnym jest obecnie guma etylenowo-propylenowa (IEP). W porównaniu z przewodami izolowanymi gumą zwykłą, których stosowanie jest niezalecane [3], przewody z izolacją IEP charakteryzują się zwiększoną do ok. 20% obciążalnością długotrwałą. Ponadto mniejsza przenikalność dielektryczna sprawia, że prądy ziemnozwarciowe są mniejsze, a to z kolei decyduje o tym, że guma IEP jest praktycznie jedynym materiałem izolacyjnym stosowanym w przewodach oponowych na napięcia powyżej 1 kV.

3. Ekranowanie kabli i przewodów oponowych

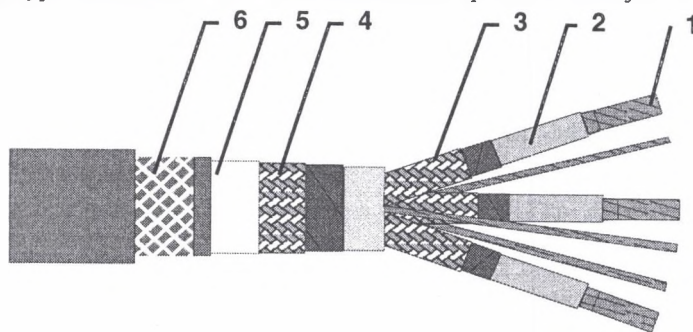
Zgodnie z § 623 rozporządzenia [1] „w instalacjach elektrycznych eksploatowanych w wyrobiskach w polach metanowych stosuje się kable i przewody ekranowane”, przy czym w rozumieniu przepisów kabel (przewód oponowy) ekranowany oznacza wykonanie z ekranami indywidualnymi. W zakresie kabli sposób ekranowania w zasadzie się nie zmienia, natomiast w przypadku przewodów oponowych stosowane są różne sposoby wykonywania ekranów. Od lat 70. rozpoczęto produkcję przewodów oponowych, w których żyły robocze były ekranowane „pośrednio” - nie poprzez nałożenie ekranów indywidualnych, lecz poprzez odpowiednie ukształtowanie i wykonanie elementów z gumy przewodzącej. Przewody te mimo swoich wad - nadmiernej średnicy zewnętrznej i małej giętkości - były aż do lat 90. podstawowym typem przewodów ekranowanych w Polsce. Dopiero na początku minionej dekady rozpoczęto produkcję przewodów OnGbekż-G ekranowanych opłotem miedziano-włóknistym, co pozwoliło na zmniejszenie średnicy zewnętrznej i zwiększenie giętkości przy jednoczesnym zwiększeniu skuteczności ekranowania i obciążalności prądowej. W ostatnim czasie dopuszczono do stosowania przewody oponowe o ekranach wykonanych z mieszanki przewodzącej o symbolu OnGcekż-G. W przewodach tych ekrany wykonane są w postaci szczelnych warstw z gumy przewodzącej, nałożonych bezpośrednio na izolację żył roboczych. W stosunku do przewodów typu OnGcekż-G (ekranowanych opłotem) nowe przewody charakteryzują się szeregiem zalet. Wymienić tu należy przede wszystkim:

- lepszą giętkość, co wynika głównie z wyeliminowania ekranów metalicznych,

- mniejszą masę jednostkową,
- prostszą technologię ich naprawy i łączenia,
- mniejszy koszt przewodów.

Pewną wadą przewodów typu OnGcekgz-G ekranowanych gumą przewodzącą w stosunku do przewodów typu OnGcekgz-G ekranowanych opłotami metalicznymi jest większa wartość rezystancji przejścia ekranów oraz silna jej nieliniowość, co może rodzić pewne obawy o skuteczność działania zabezpieczeń upływowych, zwłaszcza blokujących (zbyt duża wartość rezystancji ekranów może być przyczyną braku zadziałania zabezpieczenia). Jak wynika jednak z badań i analiz [4], ekrany z gumy przewodzącej zapewniają odpowiednią współpracę przewodów z zabezpieczeniami upływowymi.

Zgodnie z postanowieniami rozporządzenia [1] (punkt 7.3.7 załącznika nr 4) oraz normy [4] przewody oponowe stosowane w sieciach o napięciu powyżej 1 kV zasilających maszyny przodkowe powinny posiadać również ekran ogólny kontrolny. Konstrukcja przewodu oponowego typu O2nGcekgz/w-GW z dwoma ekranami przedstawiona jest na rys. 1.



Rys. 1. Konstrukcja przewodu oponowego typu O2nGcekgz/w-GW: 1 – żyła robocza, 2 – izolacja, 3 – ekran indywidualny, 4 – ekran ogólny, 5 – uszczelnienie wzdłużne, 6 – opłot wzmacniający
 Fig. 1. Design of trailing cable type O2nGcekgz/w-GW: 1 – conductor, 2 – insulation, 3 – individual screen, 4 – common screen, 5 – longitudinal water-blocking tape, 6 – reinforcing braid

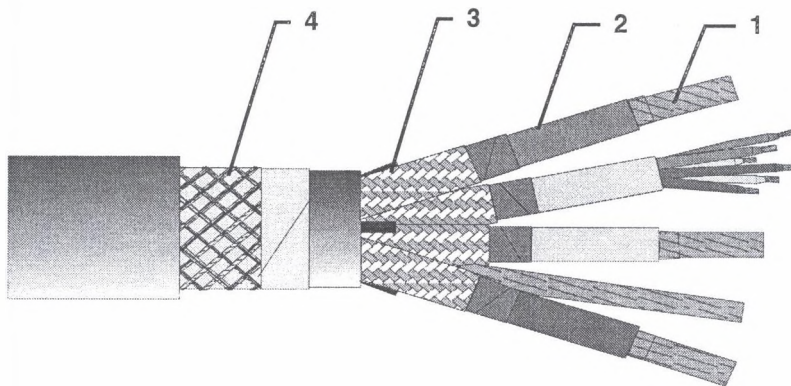
4. Wymagania i budowa w zakresie osłon zewnętrznych, opon i pancerzy

Zgodnie z punktem 7.1.3 załącznika nr 4 do rozporządzenia [1] „osłony ochronne kabli oraz opony przewodów powinny być trudno zapalne i samogasnące”. W praktyce uzyskuje się to poprzez zastosowanie specjalnych materiałów o wartości wskaźnika tlenowego co najmniej 29 [6]. Wszystkie obecnie produkowane elektroenergetyczne kable górnicze posiadają zewnętrzną osłonę antykorozyjną wykonaną z polwinilu nierozprzestrzeniającego płomienia. W przypadku kabli sygnalizacyjnych nie posiadających zewnętrznej osłony

antykorozyjnej (np. kable typu YnHKGSY) z polwinitu „niepalnego” wykonana jest powłoka. Również przewody oponowe od dłuższego czasu są wykonywane z oponą z gumy odpornej na rozprzestrzenianie płomienia.

W celu zwiększenia wytrzymałości mechanicznej przewodów oponowych, przede wszystkim odporności na działanie sił skręcających, produkuje się przewody oponowe z opłotem wzmacniającym, integralnie związanym z oponą zewnętrzną. Opłot ten wykonywany jest z włókien poliamidowych lub aramidowych (kewlarowych) i umieszczony jest pomiędzy dwoma warstwami opony (rys. 1). Taka budowa gwarantuje większą wytrzymałość przewodów praktycznie bez zwiększenia średnicy zewnętrznej i giętkości.

Punkt 7.3.6. rozporządzenia [1] stanowi, że „część ruchomą przewodu zasilającego kombajn ścianowy prowadzi się w układaku ochronnym [...]. Część ruchoma przewodu zasilającego kombajn ścianowy może być stosowana bez układaku ochronnego pod warunkiem, że jego budowa będzie zapewniała właściwą odporność na uszkodzenia mechaniczne oraz że przewód będzie przystosowany do wleczenia”. Spośród przewodów oponowych produkowanych w kraju dopuszczone do stosowania w układzie zasilania kombajnów ścianowych bez układaku kablowego są tylko przewody oponowe typu OnZGcekHz-G i OnZGcekHz-GW. Przewody te posiadają opłot z linek stalowych umieszczonych pomiędzy dwoma warstwami opony. Budowę przewodu oponowego typu OnZGcekHz-G przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Konstrukcja przewodu oponowego typu OnZGcekHz-G: 1 – żyła robocza, 2 – izolacja, 3 – ekran indywidualny, 4 – opłot wzmacniający z linek stalowych

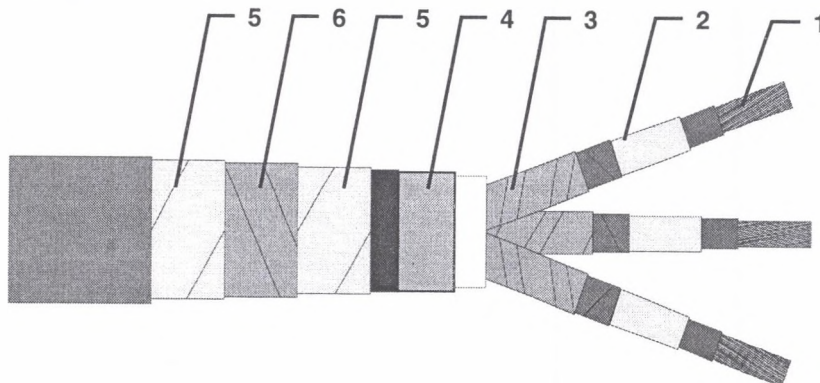
Fig. 2. Design of mining trailing cable type OnZGcekHz-G: 1 – conductor, 2 – insulation, 3 – individual screen, 4 – reinforcing steel-wire braid

W zakresie pancerzy stosowanych w kablach górniczych dostępne są trzy rodzaje: z drutów stalowych płaskich lub okrągłych oraz z taśm stalowych, przy czym te ostatnie są lakierowane, co ma stanowić dodatkową ochronę przed korozją. Z przeprowadzonych badań

i obserwacji wynika jednak, że pancerze z taśm stalowych praktycznie w żaden sposób nie zwiększają odporności kabli na typowe uszkodzenia mechaniczne. Czasami stwierdzono wręcz negatywny wpływ takiego pancerza na trwałość kabla, bowiem przy zmianie lokalizacji i przemieszczaniu kabla zdarza się, że ostra krawędź taśmy stalowej przecina powłokę lub osłonę zewnętrzną. Nielakierowane taśmy stalowe ulegają szybkiej korozji przy uszkodzeniu zewnętrznej osłony. Z powyższych względów stosowanie kabli opancerzonych taśmami stalowymi nie jest zalecane.

5. Ochrona przed migracją wody wewnątrz przewodu

Niekorzystne warunki klimatyczne panujące w wyrobiskach, szczególnie duża wilgotność powietrza oraz obecność wody kopalnianej stwarzają duże zagrożenie w przypadku uszkodzenia osłony zewnętrznej kabla lub opony przewodu oponowego. Woda wnikająca do wnętrza posiada tendencję do migracji wzdłuż kabla lub przewodu, co może niekorzystnie wpływać na układ izolacyjny oraz powodować korozję metalowych elementów (pancerzy i ekranów). Dla ochrony kabli i przewodów oponowych przed wodą i wilgocią przyjęto zasadę uszczelniania wzdłużnego i poprzecznego. Konstrukcję przewodu oponowego o zwiększonej odporności na wnikanie wody o symbolu O2nGceksz/w-GW przedstawia rys. 1.



Rys. 3. Konstrukcja kabla typu YRUHKGXSekyn: 1 – żyła robocza, 2 – izolacja, 3 – ekran indywidualny, 4 – uszczelnienie radialne, 5 – uszczelnienie wzdłużne, 6 – ekran ogólny
 Fig. 3. Design of mining cable type YRUHKGXSekyn: 1 – conductor, 2 – insulation, 3 – individual screen, 4 – radial water-blocking aluminium tape, 5 – longitudinal water-blocking tape, 6 – common screen

Przewody te pod oponą posiadają elementy utrudniające przenikanie i migrację wody wzdłuż ośrodka przewodu. To uszczelnienie wzdłużne stanowi obwód z taśmą pęczniącą pod wpływem wilgoci nawiniętej na ekran ogólny. Podobne rozwiązania stosuje się

w najnowszych konstrukcjach kabli górniczych. Na rys. 3 przedstawiono budowę kabla YRUHKGXSekFoy. Kabel ten posiada uszczelnienie wzdłużne (chroniące przed migracją wody wzdłuż kabla), jak i uszczelnienie radialne (chroniące przed wnikaniem wody do ośrodka kabla). Uszczelnienie wzdłużne wykonane jest podobnie jak w przypadku przewodu oponowego z taśm pęczniących pod wpływem wody (wilgoci), natomiast uszczelnienie radialne, chroniące przed przedostaniem się wody do ośrodka kabla, wykonane jest z taśmy aluminiowej pokrytej jednostronnie polimerem nałożonej z zakładką. Kable i przewody oponowe z uszczelnieniem wzdłużnym można w pewnym sensie traktować jako „samo-naprawialne” – w miejscu uszkodzenia osłony zewnętrznej powstaje bariera uniemożliwiająca migrację wody w okresie od wystąpienia uszkodzenia do naprawy osłony zewnętrznej.

6. Podsumowanie

Podstawowymi czynnikami zewnętrznymi mającymi wpływ na budowę górniczych kabli i przewodów oponowych są temperatura, wilgotność (woda), narażenia mechaniczne i zagrożenia naturalne, przy czym czynniki te mogą oddziaływać jednocześnie. W konstrukcji i przy doborze przewodów należy też uwzględnić aspekty ekonomiczne oraz względy ruchowe. W celu minimalizacji zagrożeń, jakie stanowią przewody elektroenergetyczne, niezbędne jest przedsięwzięcie odpowiednich środków ochronnych, wśród których należy wymienić przede wszystkim:

- stosowanie ekranów indywidualnych ochronnych i ogólnych kontrolnych w celu podwyższenia bezpieczeństwa eksploatacji kabli i przewodów oponowych,
- uszczelnienia zapobiegające wnikaniu i migracji wody w kablach i przewodach,
- wzmocnienia mechaniczne zwiększające odporność przewodów na narażenia mechaniczne bez pogarszania innych właściwości eksploatacyjnych,
- stosowanie nowoczesnych materiałów izolacyjnych, pozwalających na zwiększenie obciążalności i zmniejszenie jednostkowych prądów ziemnozwarciowych,
- wykonywanie opon i osłon zewnętrznych z niepalnych (trudno palnych) materiałów.

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. (Dz. U. Nr 139 poz. 1169) w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz

- specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych.
2. Boron S., Bogacz M., Boron W.: Obciążalność prądowa górniczych kabli i przewodów oponowych. Prace Naukowe-Badawcze-Wdrożeniowe EMAG nr 2(3) 1995.
 3. Boron W.: Elektroenergetyczne linie kablowe w wyrobiskach podziemnych zakładów górniczych. Prace Naukowe-Badawcze-Wdrożeniowe EMAG nr 1(7) 1998.
 4. PN-G-42070:2000 Elektroenergetyka kopalniana. Sieci elektroenergetyczne o napięciu znamionowym powyżej 1 kV zasilające maszyny przodkowe. Wymagania.
 5. Boron W.: Rezystancja przejścia ekranów górniczych przewodów oponowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 12/1997, Katowice.
 6. PN-90/E-04160/56. Przewody elektryczne. Metody badań. Badanie zapalności metodą wskaźnika tlenowego.

Recenzent: Doc. dr inż. Franciszek Szczucki

Abstract

Due to restructuring of polish coal-mine industry, the task of delivering energy to the coal face is more and more important as well as aspects of safety operation. This paper presents some new developments in mining power cable design. Because of excellent electrical and mechanical properties, the cross-linked polyethylene (XLPE) became the most suitable insulation material in power cables. Some advantages of XLPE in comparison to polyvinyl chloride (PVC) and thermoplastic polyethylene (PE) has been presented.

New regulations in polish mining require (in some cases) the usage of power and trailing cables with individual (earthed) screen and common (monitoring) screen. Examples of design of trailing cables with two screens has been given. Reinforcement of trailing cables is always difficult, because one has to find a compromise between the strength and elasticity. Construction of trailing cable type OnZGcekkz-G is a good example of this – braid made of steel wires provides reinforcement but the elasticity is still at acceptable level. This trailing cable can be used as a power supply connection cable for mobile equipment (such as coal cutting machines) without a cable protection chains.

Some electrical networks operate in very wet environment and the presence of water has negative effect on cables. New types of cables with water-blocking elements (swelling tapes forming a longitudinal barrier and aluminium tapes forming a radial barrier against water) has been described.