

Sergiusz BORON
Politechnika Śląska, Gliwice

MOŻLIWOŚĆ ZMNIEJSZENIA GRUBOŚCI IZOLACJI GÓRNICZYCH PRZEWODÓW OPONOWYCH

Streszczenie. Grubość izolacji górniczych przewodów oponowych jest zdeterminowana określonymi wymaganiami odnośnie do wytrzymałości elektrycznej i mechanicznej izolacji. Z uwagi na postęp w dziedzinie jakości tworzyw używanych do produkcji przewodów oraz kontroli procesu produkcyjnego istnieje realna możliwość zredukowania grubości izolacji. W referacie przedstawiono analizę możliwości zmniejszenia grubości izolacji górniczych przewodów oponowych typu OnGcekgz-G na napięcia od 3,6/6 kV do 18/30 kV.

POSSIBILITY OF THE INSULATION THICKNESS REDUCTION IN MINING TRAILING CABLES

Summary. Insulation thickness in mining trailing cables is determined by the requirements of the electrical and mechanical strength. Due to higher quality of compounds the insulation is made of and sophisticated production process control of cables there is a possibility of insulation thickness reduction. This article presents analysis of this possibility for flexible cables OnGcekgz-G with rated voltage from 3,6/6 kV to 18/30 kV.

1. Wstęp

Głównym zagadnieniem przy obliczaniu i projektowaniu przewodów oponowych górniczych jest opracowanie takiej konstrukcji, która będzie się charakteryzować odpowiednimi właściwościami eksploatacyjnymi, zapewni ciągłą, bezawaryjną pracę sieci przy zachowaniu odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa eksploatacji oraz ekonomicznie uzasadnionym zużyciu materiałów. Najważniejszym elementem konstrukcyjnym przewodów jest układ izolacyjny, którego podstawowym zadaniem jest zapewnienie odpowiedniej wytrzymałości elektrycznej przewodu. Należy jednak podkreślić, że poza odpowiednimi parametrami elektrycznymi, niezwykle istotna jest również odporność izolacji na wszelkie narażenia mechaniczne, jakim przewód może być poddany.

Współczesne materiały izolacyjne, w tym guma etylenowo-propylenowa, charakteryzują się wysoką wytrzymałością elektryczną i dlatego w przypadku przewodów na napięcie znamionowe poniżej 3,6/6 kV grubość izolacji wynikająca z warunku wytrzymałości elektrycznej jest zbyt mała z powodu niedostatecznej wytrzymałości mechanicznej (praktycznie każdy defekt powodujący niewielkie zmniejszenie grubości izolacji mógłby wtedy prowadzić do jej przebicia). Grubość izolacji tych przewodów jest więc określona głównie względami wytrzymałości mechanicznej. W przewodach wyższych napięć grubość izolacji wynikająca z warunku wytrzymałości elektrycznej jest z reguły wystarczająca, aby zapewnić odpowiednią wytrzymałość mechaniczną.

Podane w normie [6] minimalne grubości izolacji zostały ustalone już stosunkowo dawno. Od tego czasu, przy praktycznie niezmienionej konstrukcji przewodów, nastąpiła radykalna poprawa w zakresie parametrów materiałów izolacyjnych (gumy etylenowo-propylenowej). Wynika to przede wszystkim z dużej czystości gumy uzyskanej m.in. przez wprowadzenie komputerowej kontroli procesu produkcji. Uzyskane dzięki temu parametry mechaniczne i elektryczne gum przewyższają znacznie (o kilkadziesiąt procent) wymagania normatywne. W niniejszym referacie przeanalizowano możliwość zmniejszenia grubości izolacji, przy zachowaniu na odpowiednim poziomie bezpieczeństwa eksploatacji przewodów.

Zredukowanie grubości izolacji pozwoli na poprawę właściwości eksploatacyjnych przewodów (zmniejszenie masy jednostkowej, średnicy zewnętrznej i promienia zgięcia) oraz mniejsze zużycie materiałów w procesie produkcyjnym. Z punktu widzenia właściwości użytkowych istotne jest również zwiększenie długości przewodu możliwej do nawinięcia na bębny.

2. Analiza z punktu widzenia właściwości elektrycznych izolacji

2.1. Obliczenie naprężeń elektrycznych w izolacji obecnie produkowanych przewodów

Naprężenia elektryczne w izolacji powstają w wyniku działania pola elektrycznego i zależą od napięcia, kształtu żył oraz wymiarów geometrycznych izolacji. Przy założeniu, że rozpatrywany przewód ma okrągłe żyły robocze, ekrany indywidualne nałożone na izolację, izolacja wykonana jest z materiału jednorodnego i jest jednolita na całej długości przewodu, natężenie pole elektryczne E_x w odległości x od środka żył jest określone równaniem:

$$E_x = \frac{U_f}{x \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad (1)$$

gdzie:

U_f – napięcie między żyłą roboczą a ekranem na izolacji (napięcie fazowe sieci), [V],

R – zewnętrzny promień izolacji, [mm],

r – wewnętrzny promień izolacji (promień żyły roboczej powiększony o grubość warstwy przewodzącej na żyłę), [mm].

Jak wynika ze wzoru (1), największe naprężenie w izolacji występuje w warstwie bezpośrednio przylegającej do żyły ($x=r$), a najmniejsze pod ekranem ($x=R$). W przypadku kabli i przewodów bez ekranu przewodzącego na żyłach roboczych natężenie pola elektrycznego w rzeczywistości może być do 30% większe od obliczonego ze wzoru (1), gdyż powierzchnia żyły nie stanowi gładkiego cylindra. Nałożenie ekranu na żyły robocze powoduje wyrównanie wewnętrznej powierzchni izolacji i bardziej równomierny rozkład pola elektrycznego. Jak wynika z obliczeń przeprowadzonych dla przewodów oponowych typu OnGcekgż-G, natężenie pola elektrycznego w izolacji wzrasta wraz ze wzrostem napięcia znamionowego, przy czym maksymalna wartość natężenia pola wynosi ok. **3,9 kV/mm** (przewód OnGcekgż-G $3 \times 25 \text{ mm}^2$, 18/30 kV). Dla przewodów o tym samym napięciu znamionowym największe natężenie pola elektrycznego występuje w przewodach o najmniejszym przekroju żył roboczych, które posiadają najmniejszy promień wewnętrzny izolacji.

2.2. Możliwości zwiększenia natężenia pola elektrycznego w izolacji

Główne zadanie izolacji przewodu polega przede wszystkim na elektrycznym izolowaniu żył roboczych względem siebie i ziemi. Aby spełnić postulat niezawodności oraz bezpieczeństwa eksploatacji, materiały izolacyjne nie powinny zbyt szybko tracić swoich podstawowych właściwości fizycznych pod wpływem różnych oddziaływań występujących w trakcie użytkowania.

Ważnym miernikiem właściwości elektrycznych izolacji jest wytrzymałość elektryczna długotrwała. Stanowi ona miarę odporności izolacji na napięcie robocze w zadanych warunkach eksploatacji i na przepięcia o długim czasie trwania. Poza wytrzymałością długotrwałą istotna jest wytrzymałość elektryczna krótkotrwała (doraźna), będąca miarą odporności izolacji na przepięcia o krótkim czasie trwania. Jako kryterium wytrzymałości elektrycznej przyjmuje się wartość napięcia przebicia, należy jednak podkreślić, że wytrzymałość elektryczna wyznaczona na podstawie badań próbek (wg [1]) nie jest zazwyczaj miarodajna do określenia wytrzymałości izolacji wykonanego z tego materiału, może być ona natomiast traktowana jako porównawcza cecha materiałowa [9].

W normach oraz w literaturze podaje się zwykle wartości wytrzymałości elektrycznej doraźnej, która ze względu na krótki czas działania napięcia jest z reguły większa, często nawet o rząd wielkości, od wytrzymałości długotrwałej [11].

W literaturze brak jest jednolitego poglądu na to, jaką wartość można przyjmować jako napięcie przeskoku lub przebiccia, które wystąpi z zerowym prawdopodobieństwem i jak tę wartość wyznaczyć na podstawie stosunkowo niewielkiej liczby pomiarów [15]. W krajowej normie [2] ustalono minimalną wartość wytrzymałości elektrycznej doraźnej, jaką musi się charakteryzować guma etylenowo-propylenowa na 20 kV/mm (badania wytrzymałości elektrycznej przewodzą się wg normy [1]). Podobną wartość ustalono w przepisach obowiązujących w Stanach Zjednoczonych (19,7 kV/mm wg AEIC). Jak wynika z badań przeprowadzonych przez producentów przewodów [8, 13], warunek ten obecnie można uznać za dość zachowawczy, gdyż rzeczywista wytrzymałość elektryczna doraźna gumy etylenowo-propylenowej wynosi około 30 kV/mm.

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że istnieje realna możliwość podwyższenia wartości naprężeń elektrycznych w izolacji. Oczywiście jest, że każde zmniejszenie grubości izolacji wiąże się ze zwiększeniem prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia polegającego na jej przebicciu. Z tego względu mimo że rzeczywista wytrzymałość elektryczna doraźna gumy EPR jest większa od wymaganej o ok. 50%, do dalszych obliczeń przyjęto maksymalną wartość natężenia pola elektrycznego w izolacji równą

$$E_{max} = 4,7 \text{ kV/mm} \quad (2)$$

co stanowi ok. 20 % wzrost w stosunku do maksymalnego naprężenia wywołanego napięciem znamionowym przy obecnie obowiązujących grubościach izolacji (3,9 kV/mm). Należy pamiętać, że wartości długotrwałego natężenia pola elektrycznego obliczano zakładając, że napięcie pomiędzy żyłą roboczą a ekranem jest równe napięciu znamionowemu fazowemu. W czasie eksploatacji napięcie robocze może być większe od znamionowego, ponadto w czasie eksploatacji w sieci mogą wystąpić krótkotrwałe przepięcia, wielokrotnie niekiedy przekraczające napięcie robocze; z tego względu izolacja przewodów musi być wykonywana ze znacznym zapasem wytrzymałości elektrycznej w stosunku do napięcia roboczego. Tym należy tłumaczyć przyjęcie stosunkowo niewielkiego (20%) przyrostu maksymalnego natężenia pola elektrycznego.

2.3. Obliczenie nowych grubości izolacji dla przewodów na napięcie fazowe 6 kV i większe

Wstawiając do równania (1) $R = r + t$, gdzie t – grubość izolacji, otrzymać można wyrażenie na minimalną grubość izolacji t_{min} , przy której nie zostanie w izolacji przekroczona wartość maksymalnego dopuszczalnego natężenia pola elektrycznego E_{max} :

$$t_{min} = r \left[\exp\left(\frac{U_f}{r \cdot E_{max}}\right) - 1 \right] \quad (3)$$

Złożoność zjawiska przebicia powoduje, że o prawdopodobieństwie jego powstania decyduje nie tylko wartość maksymalnego natężenia pola elektrycznego, ale również cały szereg innych czynników, m.in. wymiary geometryczne i kształt dielektryka, warunki jego pracy itp. Z tego względu aby określić grubości izolacji dla całego typoszeregu przekrojów znamionowych przewodów na dane napięcie znamionowe, niezbędne jest zastosowanie rachunku statystycznego.

Narzędziem stosowanym przy określaniu niezawodności i trwałości dielektryków jest rozkład Weibulla [8, 16]. Użycie tego modelu matematycznego umożliwi obliczenie grubości izolacji dla przewodów o różnych przekrojach znamionowych żył roboczych, aby prawdopodobieństwo niewystąpienia przebicia było stałe dla całego typoszeregu przekrojów. Oznacza to, że mimo różnych wartości maksymalnego natężenia pola elektrycznego w izolacji przewodów o różnym przekroju żył, prawdopodobieństwo niewystąpienia przebicia będzie stałe. Należy tutaj podkreślić, że ostatecznie dla wszystkich przekrojów żył roboczych przewodów na dane napięcie znamionowe zostanie przyjęta taka sama wartość grubości izolacji (podyktowane jest to praktycznymi wymogami). Z tego względu jako ostateczny wynik analizy przyjęta zostanie największa obliczona grubość izolacji dla poszczególnych poziomów napięć znamionowych.

Zgodnie z rozkładem Weibulla prawdopodobieństwo P niewystąpienia w czasie τ przebicia izolacji narażonej na działanie pola elektrycznego o natężeniu E określa się wzorem [8]:

$$P(\tau) = \exp(-C\tau^a E^b Lr^2 h) \quad (4)$$

gdzie:

a, b i C – stałe zależne od rodzaju materiału izolacyjnego,

E – maksymalne natężenie pola elektrycznego przy wewnętrznej ścianie izolacji [V/m],

L – długość przewodu, dla którego określa się prawdopodobieństwo P [m],

r – promień wewnętrzny izolacji [m],

h – współczynnik geometryczny, w większości przypadków zakłada się, że $h \approx 1$,

t – grubość izolacji [m].

Porównując prawdopodobieństwo P dla tego samego materiału izolacyjnego, tej samej długości przewodu, przy tym samym czasie otrzymuje się:

$$\left(\frac{E_1}{E_2}\right)^b \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \frac{h_1}{h_2} = 1 \quad (5)$$

gdzie dla danego napięcia fazowego U_f :

$$E_2 = \frac{U_f}{r_2 \ln \frac{r_2 + t_2}{r_2}} \quad (6)$$

W powyższych wzorach wielkości z indeksem „1” oznaczają parametry dla „przewodu odniesienia”, za który przyjęto przewód o najmniejszym przekroju żył roboczych (występujące w nim naprężenia elektryczne są największe). Wielkości z indeksem „2” oznaczają parametry przewodu, dla którego obliczane są wymiary izolacji.

Znając więc parametry E_1 i r_1 dla „przewodu odniesienia” można obliczyć grubość izolacji t_2 danego przewodu, przy której zostanie zachowana taka sama trwałość dielektryka:

$$t_2 = r_2 \left(\exp \frac{U_f}{E_1 \cdot r_2 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^b} - 1 \right) \quad (7)$$

Współczynnik b jest to tzw. współczynnik kształtu rozkładu Weibulla, który można wyznaczyć na podstawie badań (dla gumy EPR wartość tego współczynnika przyjmuje się jako równą 12 [8]).

W tabelicy 1 przedstawiono wyniki obliczeń grubości izolacji wg równania (7) dla wybranych przekrojów żył roboczych rozpatrywanych przewodów. Zgodnie z (2) jako wartość natężenia pola elektrycznego przyjęto 4,7 kV/mm. W obliczeniach nie uwzględniono przewodów na napięcie 3,6/6 kV, gdyż o grubości izolacji tych przewodów decydują względy wytrzymałości mechanicznej.

Tabela 1

Zestawienie obliczonych na podstawie rozkładu Weibulla grubości izolacji

Napięcie fazowe [kV]	Przekrój żyły roboczej [mm ²]	Grubość izolacji [mm]	E_{max} [kV/mm]
6	10	1,56	4,70
	50	1,60	4,22
	95	1,63	4,02
	120	1,65	3,95
8,7	10	2,49	4,70
	50	2,45	4,22
	95	2,47	4,02
	120	2,49	3,95
12	10	3,88	4,70
	50	3,61	4,22
	95	3,59	4,02
	120	3,60	3,95
18	25	5,98	4,70
	50	5,67	4,47
	95	5,51	4,26

W praktyce, ze względu na wymagany zapas wytrzymałości elektrycznej, powyższe obliczone wartości grubości izolacji mogą się okazać niewystarczające. Wynika to z niejednorodności dielektryka, kształtu izolacji mogącego odbiegać od idealnej krzywizny, a także, w pewnym stopniu, z wymogów wytrzymałości mechanicznej. Ujawnia się to w większym stopniu przy mniejszych grubościach izolacji, a więc przy mniejszych napięciach znamionowych. Z tego powodu, obliczone wartości skorygowano uwzględniając współczynnik zapasu zależny od napięcia fazowego. W tabelicy 2 przedstawiono wartości współczynnika zapasu k_z oraz skorygowanej grubości izolacji dla przewodów na napięcia 6/10 kV i wyższe obliczonej z zależności:

$$t_r = t' \cdot k_z \quad (8)$$

gdzie:

t' – największa grubość izolacji dla przewodów na dane napięcie znamionowe (wartości wythuszczone w tabelicy 1).

Tablica 2

Współczynnik zapasu k_z i obliczona grubość izolacji dla przewodów na napięcie 6/10kV i wyższe

U [kV]	t_{max} [mm]	k_z	t_k [mm]
6/10	1,65	1,70	2,8
8,7/15	2,49	1,40	3,5
12/20	3,88	1,10	4,3
18/30	5,98	1,02	6,1

Warunkiem przyjęcia zredukowanych wartości grubości izolacji powinno być podwyższenie przyjętych w normie [2] wartości wymaganej wytrzymałości elektrycznej w stopniu co najmniej odpowiadającym podwyższeniu wartości naprężenia elektrycznego długotrwałego w izolacji. Biorąc pod uwagę fakt, że przyjęcie zredukowanych grubości izolacji spowoduje wzrost naprężenia elektrycznego o ok. 20%, proponuje się przyjęcie 25% podwyższenia wymagań normatywnych dotyczących wytrzymałości elektrycznej doraźnej, co odpowiada wartości $E_{kr} = 25 \text{ kV/mm}$.

3. Analiza z punktu widzenia wytrzymałości mechanicznej izolacji

Obliczone na podstawie warunku zachowania wytrzymałości elektrycznej wartości grubości izolacji w przewodach na napięcie fazowe poniżej 6 kV są zbyt małe, aby zapewnić wymaganą

wytrzymałość mechaniczną [10]. Ponadto, wskutek niejednorodności materiału izolacyjnego otrzymywanego w praktyce, możliwe jest pojawienie się defektów, które przy niewielkich grubościach izolacji mogą doprowadzić do jej przebicia (elektrycznego). Grubość izolacji dla kabli i przewodów na napięcie do 3,6/6 kV wyznaczana jest głównie na podstawie danych uzyskanych w praktyce eksploatacyjnej. Na grubość izolacji ma też wpływ przekrój żył roboczych, gdyż wraz z jego wzrostem wzrasta również masa żył, co niekorzystnie wpływa na prawdopodobieństwo uszkodzenia izolacji podczas produkcji, montażu i eksploatacji przewodu. Niektórzy autorzy zwracają również uwagę na fakt, że awaria przewodu o dużym przekroju żył roboczych z reguły powoduje większe straty ekonomiczne (większy koszt przewodu oraz przeważnie większe jego znaczenie) [10]. Wymagane parametry mechaniczne gumy izolacyjnej określone są w normie [2]. Podstawowym parametrem określającym właściwości mechaniczne izolacji jest wytrzymałość na rozciąganie, która powinna być nie mniejsza niż 4,5 MPa. Jak wynika z badań prowadzonych przez producentów przewodów, rzeczywista wartość tego parametru jest dla obecnie produkowanej gumy EPR znacznie większa i wynosi 7÷10 MPa. Również pozostałe parametry mechaniczne (wydłużenie przy zerwaniu, właściwości po starzeniu) z dużym zapasem spełniają wymagania normy [2]. Wysokie parametry mechaniczne gumy etylenowo-propylenowej, w połączeniu z dobrymi właściwościami elektrycznymi stwarzają możliwość zmniejszenia grubości izolacji dla przewodów na napięcie 3,6/6 kV. Jak już wspomniano, wymiary izolacji dla przewodów na napięcia poniżej 6 kV ustalane są na podstawie badań gotowego wyrobu oraz badań eksploatacyjnych; z tego względu ustalenie ilościowe możliwości zredukowania grubości izolacji nie może się opierać tylko na analizie wartości parametrów mechanicznych gumy izolacyjnej. Uwzględniając powyższe stwierdzenia, analogicznie do przyjętego w podrozdziale 2.2 założenia o zwiększeniu o 20% maksymalnego naprężenia elektrycznego w izolacji, proponuje się przyjęcie możliwości 20% redukcji grubości izolacji przewodów oponowych na napięcie 3,6/6 kV. Oznacza to, że zredukowana grubość izolacji tych przewodów wyniesie:

$$t_r = 0,8 \cdot t_d = 0,8 \cdot 3,0 = 2,4 \text{ mm} \quad (9)$$

(symbolem t_d oznaczono grubość izolacji dotychczas produkowanych przewodów).

Należy podkreślić, że proponowana zmiana jest zgodna z trendami panującymi obecnie w technice kablowej innych krajów, np. Stanów Zjednoczonych [8], Włoch [13] czy Niemiec [7].

Wprowadzenie zredukowanej grubości izolacji przewodów oponowych na napięcie 3,6/6 kV powinno pociągnąć za sobą zmianę wymagań normatywnych odnośnie do wymaganej wytrzymałości gumy EPR na rozciąganie. Proponuje się zwiększenie tego parametru o ponad 20% do wartości $R_r = 5,5 \text{ MPa}$.

4. Wnioski i uwagi końcowe

Bardzo dobre parametry elektryczne i mechaniczne produkowanej obecnie gumy etylenowo-propylenowej, znacznie przewyższające wymagania normatywne, oraz nowoczesne technologie produkcji przewodów oponowych przemawiają za rozważeniem możliwości skorygowania grubości izolacji przewodów oponowych średnich napięć typu OnGcekgż-G. W pracy przeanalizowano wymagane parametry elektryczne i mechaniczne, jakimi powinna się cechować izolacja przewodów średniego napięcia. Przeprowadzona analiza i obliczenia wykazują, że istnieje możliwość zmniejszenia wymiarów izolacji. Wartości zredukowanych grubości izolacji, zapewniających praktycznie niezmienny stopień bezpieczeństwa eksploatacji i pewności ruchowej zestawiono w tabelicy 3.

Tabela 3

Dotychczasowe t_d oraz zredukowane t_r grubości izolacji przewodów typu OnGcekgż-G

U [kV]	t_d [mm]	t_r [mm]
3,6/6	3,0	2,4
6/10	3,4	2,8
8,7/15	4,5	3,5
12/20	5,5	4,3
18/30	8,0	6,1

Warunkiem przyjęcia podanych w tabelicy 3 wartości zredukowanych grubości izolacji powinno być podwyższenie przyjętych w normie [2] wartości wymaganych parametrów elektrycznych i mechanicznych gumy etylenowo-propylenowej do następujących wartości:

wytrzymałość na rozciąganie **$R_r = 5,5$ MPa,**

wytrzymałość elektryczna **$E_{kr} = 25$ kV/mm.**

Przyjęcie zaproponowanych w niniejszej pracy wartości zmniejszonych grubości izolacji powinno się przyczynić do znacznej poprawy parametrów eksploatacyjnych przewodów oraz do uzyskania znaczących efektów ekonomicznych. W szczególności należy tu wymienić:

- mniejszą średnicę zewnętrzną,
- obniżoną masę jednostkową,
- zmniejszony dopuszczalny promień zgięcia,
- poprawę giętkości,
- zwiększenie długości przewodu możliwej do nawinięcia na bęben zadanej wielkości,
- obniżenie ceny jednostkowej.

LITERATURA

1. PN-69/E-04404 Materiały elektroizolacyjne stałe. Metody pomiaru wytrzymałości dielektrycznej napięciem o częstotliwości przemysłowej.
2. PN-89/E-29100 Guma do kabli i przewodów elektrycznych.
3. PN-89/E-90140 Przewody elektroenergetyczne o izolacji i oponie gumowej do górniczych odbiorników ruchomych i przenośnych. Wymagania i badania.
4. PN-89/E-90145 Przewody elektroenergetyczne o izolacji i oponie gumowej do górniczych odbiorników ruchomych i przenośnych. Przewody ekranowane na napięcie 3,6/6 kV.
5. PN-88/E-90160 Przewody elektroenergetyczne. Budowa żył miedzianych i aluminiowych.
6. ZN-96/MP-13-K2 Górnicze przewody oponowe ekranowane o izolacji i oponie gumowej na napięcie znamionowe nie przekraczające 18/30 kV.
7. 11. Seminar für Bergbauspezialleitungen. Pirelli, 2000.
8. Cinquemani P., Yingli W., Kuchta F, Doench C.: Performance of reduced wall EPR insulated medium voltage power cables. IEEE Transactions on Power Delivery, nr 2/1997.
9. Gacek Z.: Wysokonapięciowa technika izolacyjna. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1996.
10. Kinsner K.: Napowietrzne i kablowe linie elektroenergetyczne. PWN, Warszawa 1973.
11. Kolbiński K., Słowikowski J.: Materiałoznawstwo elektrotechniczne. WNT, Warszawa 1978.
12. Krasucki F. (red.): Wybrane zagadnienia kompatybilności elektromagnetycznej w górnictwie. PWN, Warszawa 1988.
13. Occhini E., Metra P., Portinari G., Vecellio B.: Thermal, mechanical and electrical properties of EPR insulations in power cables. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, No. 7, July 1983.
14. Privezentsev V., Grodnev I., Kholodny S., Ryazanov I.: Fundamentals of Cable Engineering. Mir Publishers, Moskwa 1973.
15. Pr. zb.: Układy izolacyjne urządzeń elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 1978.
16. Weedy B. M.: Underground transmission of electric power. John Wiley & Sons. New York 1980.

Recenzent: Doc. dr inż. Franciszek Szczucki

Abstract

Insulation thickness in mining trailing cables is determined by the requirements of the electrical and mechanical strength. Requirements which determine insulation thickness has been established relatively long time ago. Since then, the quality of materials used in the manufacturing process has improved and some sophisticated methods of production process control has been introduced. All these factors made the reduction of insulation thickness possible. In the case of cables with rated voltage 3,6/6 kV insulation thickness determined by the requirements of the electrical strength is not sufficient to ensure required mechanical strength. In cables with rated

voltage 6/10 kV to 18/30 kV insulation thickness determined by the electrical strength is usually sufficient to ensure required mechanical strength. Tests conducted on samples of the insulation material (EPR rubber) proved, that real electrical strength is at least 50% higher than required. This fact led to proposal of reducing insulation thickness of EPR insulated trailing cables. Because of the stochastic character of insulation breakdown process, appropriate mathematical model, called Weibull statistics has been used to determine new insulation dimensions.

Possibility to reduce insulation thickness of cables with rated voltage 3,6/6 kV, due to excellent mechanical properties of EPR rubber, has been presented. Application of proposed changes in cable construction requires, that some changes must be made in appropriate standards and regulations. The article presents some proposals of these changes.

Reduction of insulation thickness in mining trailing cables will give following advantages:

- smaller size of the cable,
- smaller weight,
- smaller bending radius,
- better elasticity,
- increase of length of cable which can be reeled on a drum,
- smaller cost of the cable.