

Wybrane kryteria oceny i doboru izolacji elektroenergetycznych kabli górniczych

W artykule przedstawiono rodzaje izolacji stosowanych w górniczych kablach elektroenergetycznych pod kątem zależności od wartości napięcia znamionowego i konstrukcji kabli. Podano podstawowe właściwości materiałów izolacyjnych. Ustalono kryteria oceny i doboru izolacji, uwzględniające wymagania w zakresie bezpieczeństwa eksploatacji i pewności ruchowej zasilania maszyn. W postaci tabelarycznej zestawiono obliczone wartości obciążalności prądowej, rezystancji izolacji doziemnej, pojemności doziemnych i jednostkowych prądów ziemnozwarciowych dla kabli w izolacji polwinitowej z polietylenu termoplastycznego i usieciowanego. Na podstawie przeprowadzonej analizy ustalono optymalne, z punktu widzenia potrzeb ruchu górniczego, typy kabli.

1. WSTĘP

Górnice kable elektroenergetyczne stanowią podstawowy element w ogólnym systemie dostawy energii do przodków wydobywczych. W związku z tym zarówno ich konstrukcja, jak i rodzaj zastosowanych materiałów powinny spełniać wyjątkowo restrykcyjne wymagania, zapewniające najwyższy, możliwy do uzyskania stopień bezpieczeństwa eksploatacji i niezawodności dostawy energii elektrycznej.

W omawianym zakresie szczególnie istotną rolę odgrywa materiał izolacji kabli. Na podkreślenie zasługuje fakt, że rodzaj izolacji stanowi praktycznie jedyną cechę różnicującą różne typy i rodzaje kabli; inne elementy konstrukcyjne (żyły, ekrany, powłoka, pancerze, osłona) są identyczne dla wszystkich typów elektroenergetycznych kabli górniczych.

Na podstawie przeprowadzonych analiz [3] stwierdzić można, że zastosowany w kablach materiał izolacji ma bezpośredni wpływ na następujące, podstawowe z punktu widzenia własności eksploatacyjnych, parametry elektryczne kabli:

- dopuszczalna obciążalność prądowa,
- rezystancja izolacji i jej zmienność wraz z temperaturą,
- pojemność doziemna i wartość jednostkowego prądu ziemnozwarciowego.

W niniejszym artykule omówiono czynniki mające wpływ na wyżej wymienione parametry. W analizie nie uwzględniono właściwości mechanicznych materiałów izolacyjnych; właściwości te (pomijając papier nasycony syciwem) są w zasadzie identyczne i nie różnicują w istotny sposób parametrów izolacji. Podane zostaną również dane porównawcze parametrów dla kabli z różnymi materiałami izolacji, umożliwiające dokonanie racjonalnego doboru typu kabli do warunków konkretnej instalacji.

2. RODZAJE IZOLACJI W KABLACH GÓRNICZYCH

Izolację w kablach [4] zdefiniować można jako element konstrukcyjny, którego głównym zadaniem jest zapewnienie odpowiedniej wytrzymałości elektrycznej [5]. Spełnienie tego wymogu jest związane z koniecznością wykorzystywania na izolację materiałów o odpowiednio dużej wartości napięcia przebicia (wytrzymałości elektrycznej wyrażonej w kV/mm).

Aktualnie w kablach instalowanych w sieciach elektroenergetycznych w podziemnych zakładach górniczych na izolację stosowane są następujące materiały:

- papier nasycony syciwem zwykłym,

- papier nasycony syciwem nieściekającym,
- polwinit izolacyjny (PCW),
- polietylen termoplastyczny (PE),
- polietylen usieciowany (XLPE).

Należy zaznaczyć, że kable w izolacji papierowej (niezależnie od rodzaju syciwa) są stosowane wyłącznie do fizycznego zużycia w instalacjach już istniejących. W nowych instalacjach kable z tego rodzaju izolacją nie powinny być używane. Izolacja

polietylenowa (zarówno rodzaju PE i XLPE) jest wykorzystywana, niezależnie od wartości napięcia znamionowego, wyłącznie w elektroenergetycznych kablach górniczych ekranowanych; w kablach nieekranowanych stosowana jest z zasady izolacja polwinitowa (PCW). W tabelicy 1. przedstawiono zakres stosowania kabli elektroenergetycznych w zależności od rodzaju izolacji i napięcia znamionowego.

Tablica 1.

Zestawienie zakresów stosowania kabli elektroenergetycznych

Rodzaj izolacji	Papier nasycony syciwem			Polietylen termoplastyczny			Polietylen usieciowany			Polwinit		
	0,6/1	3,6/6	6/10	0,6/1	3,6/6	6/10	0,6/1	3,6/6	6/10	0,6/1	3,6/6	6/10
Napięcie znam. [kV]												
Kable nieekranowane	+	+	–	–	–	–	–	–	–	+	+	–
Kable ekranowane	–	–	–	+	+	–	+	+	+	+	+	–

3. WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW IZOLACYJNYCH

Wyszczególnione na wstępie parametry elektryczne kabli zależą bezpośrednio od właściwości zastosowanych materiałów izolacyjnych. Wymienić tu należy w szczególności następujące właściwości:

- 1) Temperatura graniczna. Wartość temperatury granicznej dopuszczalnej długotrwale i przy zwarciu decyduje o wartościach odpowiednio obciążalności długotrwałej i zwarciowej. Większe wartości temperatur granicznych skutkują możliwością istotnego zwiększenia obciążalności prądowych.
- 2) Rezystywność skrośna. Parametr ten ma decydujący wpływ na rezystancję izolacji. Im większa wartość rezystywności materiału, tym lepsze wla-

sności kabli w zakresie doziemnej rezystancji izolacji.

- 3) Przenikalność dielektryczna. Zarówno wartości pojemności doziemnych, jak i jednostkowych prądów ziemnozwarciowych są wprost proporcjonalne do wartości przenikalności dielektrycznej (dla kabli o identycznej grubości izolacji i średnicy żyły) [2].

Zaznaczyć należy, że wartości rezystywności skrośnej oraz przenikalności dielektrycznej mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo eksploatacji, natomiast od wartości temperatury granicznej zależą przede wszystkim własności użytkowe kabli.

W tabelicy 2. zestawiono wartości temperatur granicznych dopuszczalnych długotrwale i przy zwarciu dla kabli górniczych w zależności od zastosowanego materiału izolacyjnego.

Tablica 2.

Zestawienie temperatur granicznych dopuszczalnych dla stosowanych rodzajów izolacji

Rodzaj izolacji	Temperatura graniczna dopuszczalna, °C	
	długotrwale \mathcal{I}_{gd}	przy zwarciu \mathcal{I}_{gz}
Izolacja papierowa – syciwo zwykłe	70	200
Izolacja papierowa – syciwo nieściekające	70	150
Polwinit	70	160
Polietylen termoplastyczny	70	130
Polietylen usieciowany	90	250

Z zawartych w tabelicy 2. danych wynika, że w zakresie dopuszczalnych temperatur granicznych (zarówno długotrwałe, jak i przy zwarciu) najlepsze własności posiadają kable w izolacji z polietylenu usieciowanego.

Wartości rezystywności skrośnych stosowanych w kablach górniczych materiałów izolacyjnych przedstawiono w tabelicy 3. [3]. Wartości rezystywno-

ści podano zarówno dla temperatury otoczenia ($\vartheta = 20^{\circ}\text{C}$), jak i dla temperatury granicznej dopuszczalnej długotrwałe ($\vartheta = \vartheta_{gd}$). Ze względu na brak wiarygodnych danych oraz z uwagi na eliminowanie z dołowych sieci elektroenergetycznych kablów w izolacji papierowej w tabelicy nie uwzględniono tego rodzaju kabli.

Tabelica 3.

Zestawienie rezystywności skrośnych dla wybranych rodzajów izolacji

Rodzaj izolacji	Napięcie znam. kabla, kV	Temperatura graniczna ϑ_{gd} , $^{\circ}\text{C}$	Rezystywność skrośna, $\Omega \cdot \text{cm}$	
			$\vartheta = 20^{\circ}\text{C}$	$\vartheta = \vartheta_{gd}$
Polwinit PCW	0,6/1	70	$\geq 1 \cdot 10^{13}$	$\geq 1 \cdot 10^{10}$
	3,6/6	70	$\geq 1 \cdot 10^{14}$	$\geq 1 \cdot 10^{11}$
Polietylen termoplastyczny PE	0,6/1	70	$\geq 5 \cdot 10^{16}$	$\geq 1 \cdot 10^{15}$
	3,6/6	70	$\geq 5 \cdot 10^{16}$	$\geq 1 \cdot 10^{15}$
Polietylen usieciowany XLPE	0,6/1	90	$\geq 1 \cdot 10^{16}$	$\geq 1 \cdot 10^{14}$
	3,6/6	90	$\geq 1 \cdot 10^{16}$	$\geq 1 \cdot 10^{14}$

Na podstawie analizy danych zawartych w tabelicy 3. stwierdzić można, że w zakresie rezystywności skrośnej izolacji i jej zmienności wraz z temperaturą najmniej przydatne, z punktu widzenia potrzeb ruchu górniczego, własności wykazuje izolacja polwinitowa. W omawianym zakresie parametry izolacji z polietylenu termoplastycznego i usieciowanego przedstawiają się dużo bardziej korzystnie.

Jak już wspomniano, wartości pojemności doziemnych i jednostkowych prądów ziemnozwarciowych są (przy tych samych wymiarach geometrycznych żył i izolacji) wprost proporcjonalne do wartości przenikalności dielektrycznej. Dla wyznaczania wartości ww. parametrów najczęściej przyjmowane są następujące wartości przenikalności dielektrycznej:

– dla polwinitu – $\varepsilon \leq 5$,

– dla polietylenu termoplastycznego i usieciowanego – $\varepsilon \leq 2,4$.

4. DANE PORÓWNAWCZE WYBRANYCH PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH KABLI

4.1. Obciążalność prądowa

W tabelicy 4. przedstawiono dane porównawcze w zakresie dopuszczalnej obciążalności długotrwałej kabli w zależności od rodzaju zastosowanej izolacji oraz napięcia znamionowego. Ujęte w tabelicy dane odnoszą się do wyrobisk o temperaturze otoczenia nieprzekraczającej 25°C .

Tabelica 4.

Zestawienie dopuszczalnej obciążalności długotrwałej kabli w zależności od rodzaju zastosowanej izolacji oraz napięcia znamionowego

Przekrój znamionowy żył roboczych, mm^2	Obciążalność długotrwała I_d kabli, A						
	nieekranowanych, w izolacji			ekranowanych, w izolacji			
	papierowej (K..., Kn...)	polwinitowej (YKGY...)		polwinitowej lub z polietylenu termoplastycznego (YHKGY..., YHKGX...)		z polietylenu usieciowanego (YHKGXS...)	
		3,6/6 kV	0,6/1 kV	3,6/6 kV	0,6/1 kV	3,6/6 kV	0,6/1 kV
4	-	33	-	39	-	46	-
6	-	46	-	49	-	59	-
10	55	62	65	67	69	79	87
16	75	84	84	87	89	104	113
25	100	110	109	116	117	137	146
35	120	136	132	140	141	166	176
50	150	170	158	170	168	200	209
70	190	209	195	211	209	248	259
95	230	253	238	259	254	305	314
120	270	289	274	299	292	351	359
150	310	335	311	340	331	401	408
185	355	382	357	392	380	461	466
240	430	448	421	464	448	544	550

Wartości obciążalności są zgodne z ustaleniami normy [6]. Stanowią one wynik realizacji – w ówczesnym CEiAG EMAG – projektu [1]; wyznaczone zostały przez rozwiązanie metodą elementów skończonych (MES) równań różniczkowych opisujących pole temperaturowe kabla.

Podane w tablicy 5. wartości obciążalności umożliwiają obliczenie współczynników uwidaczniających procentowe względne wartości obciążalności kabli ekranowanych w izolacji z polietylenu usieciowanego XLPE, odniesione do kabli ekranowanych w izolacji polwinitowej PCW lub z polietylenu termoplastycznego PE.

Tablica 5.

Zestawienie względnej wartości obciążalności kabli ekranowanych w izolacji z polietylenu usieciowanego XLPE, odniesione do kabli ekranowanych w izolacji polwinitowej PCW lub z polietylenu termoplastycznego PE

Przekrój znamionowy żył roboczych, mm ²	Względna wartość obciążalności $I_{dXLPE}/I_{dPCW,PE} \times 100 \%$	
	0,6/1 kV	3,6/6 kV
4	118	-
6	120	-
10	118	126
16	120	127
25	118	125
35	119	125
50	118	124
70	118	124
95	118	124
120	117	123
150	118	123
185	118	123
240	117	123

Na podstawie danych zawartych w tablicach 4. i 5. można sformułować następujące wnioski:

- 1) Wartości obciążalności długotrwałej kabli ekranowanych w izolacji z polietylenu usieciowanego XLPE są wyższe od odpowiednich kabli w izolacji PCW i PE o 117÷120% dla kabli 0,6/1 kV oraz 123÷127% dla kabli 3,6/6 kV.
- 2) Wyższe wartości obciążalności kabli ekranowanych w izolacji z polietylenu usieciowanego pozwalają na uzyskanie znacznych efektów ekonomicznych wynikających z możliwości zastosowania kabli o mniejszym przekroju żył roboczych.
- 3) Z analizy podanych w tablicach wartości obciążalności wynika, że praktycznie dla dowolnych obciążeń prądowych odcinków sieci istnieje możliwość zastąpienia kabla PCW kablem XLPE o przekroju mniejszym o co najmniej jeden stopień (przy założeniu, że przekrój żył kabla wynika z obciążalności prądowej); przykładowo:
 - a) dla odcinka sieci 3,6/6 kV, obciążonego prądem o wartości 150 A, koniecznym jest zastosowanie kabla YHKGY... o przekroju żył roboczych 50 mm², natomiast dla kabla YHKGTXS... wystarczającym jest przekrój 35 mm² (mniejszy o jeden stopień),

- b) dla odcinka sieci 3,6/6 kV, obciążonego prądem o wartości 300 A, koniecznym jest zastosowanie kabla YHKGY... o przekroju żył roboczych 150 mm², natomiast dla kabla YHKGXS... wystarczającym jest przekrój 95 mm² (mniejszy o dwa stopnie),
- c) dla odcinka sieci 0,6/1 kV, obciążonego prądem o wartości 200 A, koniecznym jest zastosowanie kabla YHKGY... o przekroju żył roboczych 70 mm², natomiast dla kabla YHKGXS... wystarczającym jest przekrój 50 mm² (mniejszy o jeden stopień).

4.2. Rezystancja izolacji

W tablicy 6. przedstawiono wartości izolacji doziemnej górniczych kabli ekranowanych na napięcia znamionowe 0,6/1 kV oraz 3,6/6 kV [1]. Podane wartości obliczono, przyjmując wartości rezystywności materiałów izolacyjnych (PCW – dla kabli typu YHKGY..., PE – dla kabli typu YHKGX..., XLPE – dla kabli typu YHKGXS...) zgodnie z tablicą 3. Wymiary geometryczne kabli podano w oparciu o informacje uzyskane od producentów.

Tablica 6.

**Zestawienie wartości izolacji doziemnej górniczych kabli ekranowanych
na napięcia znamionowe 0,6/1 kV oraz 3,6/6 kV**

S, mm ²	Rezystancja izolacji R_{iz20} i $R_{izg_{gd}}$ [$M\Omega \cdot km$] dla kabli typu:											
	YHKGY...				YHKGX...				YHKGXS...			
	0,6/1 kV		3,6/6 kV		0,6/1 kV		3,6/6 kV		0,6/1 kV		3,6/6 kV	
	$g=20^{\circ}C$	$g=70^{\circ}C$	$g=20^{\circ}C$	$g=70^{\circ}C$	$g=20^{\circ}C$	$g=70^{\circ}C$	$g=20^{\circ}C$	$g=70^{\circ}C$	$g=20^{\circ}C$	$g=90^{\circ}C$	$g=20^{\circ}C$	$g=90^{\circ}C$
16	5,28	0,0053	135	0,136	26 424	528	47 710	954	5725	57,2	10056	100,6
25	4,95	0,0050	113	0,114	24 773	495	40 370	807	4588	45,9	8404	84,0
35	4,22	0,0043	99	0,100	21 103	422	35 599	712	3927	39,3	7377	73,8
50	4,29	0,0043	89	0,090	21 470	429	32 113	642	3743	37,4	6643	66,4
70	3,60	0,0036	77	0,077	17 983	360	27 709	554	3156	31,6	5762	57,6
95	3,52	0,0036	68	0,068	17 616	352	24 406	488	3120	31,2	5028	50,3
120	3,19	0,0032	61	0,062	15 965	319	22 204	444	2826	28,3	4551	45,5
150	3,19	0,0032	56	0,056	15 965	319	20 369	407	2863	28,6	4147	41,5
185	3,19	0,0032	51	0,051	15 965	319	18 534	371	2899	29,0	3780	37,8
240	3,08	0,0031	46	0,046	15 414	308	16 515	330	2826	28,3	3376	33,8

Na podstawie danych zawartych w tablicy 6. obliczyć można współczynniki określające stosunek rezystancji izolacji kabli w izolacji polietylenowej (termoplastycznej PE i usieciowanej XLPE) do rezystancji izolacji kabli w izolacji polwinitowej

PCW. Współczynniki te, obliczone jako średnie arytmetyczne wartości wyznaczonych dla poszczególnych przekrojów żył roboczych, przedstawiono w tablicy 7.

Tablica 7.

**Zestawienie współczynników określających stosunek rezystancji izolacji kabli
w izolacji polietylenowej (termoplastycznej PE i usieciowanej XLPE) do rezystancji izolacji kabli
w izolacji polwinitowej PCW**

Względne wartości rezystancji izolacji kabli w izolacji z polietylenu termoplastycznego R_{izPE}/R_{izPCW} oraz usieciowanego R_{izXLPE}/R_{izPCW}							
R_{izPE}/R_{izPCW}				R_{izXLPE}/R_{izPCW}			
0,6/1 kV		3,6/6 kV		0,6/1 kV		3,6/6 kV	
$g=20^{\circ}C$	$g=g_{gd}=70^{\circ}C$	$g=20^{\circ}C$	$g=g_{gd}=70^{\circ}C$	$g=20^{\circ}C$	$g=g_{gd}=90^{\circ}C$	$g=20^{\circ}C$	$g=g_{gd}=90^{\circ}C$
5×10^3	1×10^5	$0,3 \times 10^3$	7×10^3	1×10^3	1×10^4	$0,7 \times 10^2$	$0,7 \times 10^3$

Dane zawarte w tablicy 7. wskazują, ile razy rezystancja izolacji kabli YHKGX... lub YHKGXS... jest większa od rezystancji izolacji kabli YHKGY...

Przykładowo:

- rezystancja izolacji kabli YHKGXS... 0,6/1 kV w temperaturze $g=20^{\circ}C$ jest 1000 razy większa od rezystancji izolacji kabli YHKGY... 0,6/1 kV (w temperaturze $g=g_{gd}=90^{\circ}C$ – 10 000 razy),
- rezystancja izolacji kabli YHKGX... 0,6/1 kV w temperaturze $g=20^{\circ}C$ jest 5000 razy większa

- od rezystancji izolacji kabli YHKGY... 0,6/1 kV (w temperaturze $g=g_{gd}=70^{\circ}C$ – 100 000 razy),
- rezystancja izolacji kabli YHKGXS... 3,6/6 kV w temperaturze $g=20^{\circ}C$ jest 70 razy większa od rezystancji izolacji kabli YHKGY... 0,6/1 kV (w temperaturze $g=g_{gd}=90^{\circ}C$ – 700 razy),
- rezystancja izolacji kabli YHKGX... 3,6/6 kV w temperaturze $g=20^{\circ}C$ jest 300 razy większa od rezystancji izolacji kabli YHKGY... 0,6/1 kV (w temperaturze $g=g_{gd}=70^{\circ}C$ – 7000 razy).

Z analizy danych zawartych w tablicach 6. i 7. wynika, że z punktu widzenia wartości rezystancji izolacji kable można uszeregować w następującej kolejności (od właściwości najgorszych do najlepszych):

- 1) kable typu YHKGY... w izolacji polwinitowej (PCW),
- 2) kable typu YHKGXS... w izolacji z polietylenu usieciowanego (XLPE),
- 3) kable typu YHKGX... w izolacji z polietylenu termoplastycznego.

Przedstawiony podział dotyczy zarówno kabli na napięcie znamionowe 0,6/1 kV, jak i 3,6/6 kV, przy czym uwzględnia on również wartości rezystancji izolacji w temperaturze otoczenia ($\vartheta=20^{\circ}\text{C}$) i temperaturze granicznej dopuszczalnej długotrwale ($\vartheta=\vartheta_{gd}$). Przy ocenie należy jednak uwzględnić różnice w wartościach temperatur granicznych; dla kabli w izolacji polwinitowej typu YHKGY.. i z polietylenu termoplastycznego typu YHKGX... jest ona równa 70°C , natomiast dla

cabli w izolacji z polietylenu usieciowanego typu YHKGXS... – 90°C . Należy również podkreślić, że kable elektroenergetyczne w izolacji z polietylenu termoplastycznego od pewnego czasu są praktycznie wycofane z produkcji. Ten rodzaj izolacji jest stosowany obecnie przede wszystkim w kablach telekomunikacyjnych.

4.3. Pojemności doziemne i jednostkowe prądy ziemnozwarciowe

Ocenę porównawczą wartości pojemności doziemnych i jednostkowych prądów ziemnozwarciowych ograniczono do kabli na napięcie znamionowe 3,6/6 kV w zakresie przekrojów żył roboczych $16\div 240\text{ mm}^2$. Obliczenia przeprowadzono zgodnie z metodyką podaną w [3] i [2], przyjmując wartości przenikalności dielektrycznej wg p. 3., a wymiary geometryczne – wg danych uzyskanych od krajowych producentów. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicy 8.

Tablica 8.

Zestawienie pojemności doziemnych i jednostkowych prądów ziemnozwarciowych dla kabli na napięcie znamionowe 3,6/6 kV

Przekrój znamionowy żył roboczych, mm^2	Pojemności doziemne C_0 [$\mu\text{F}/\text{km}$] kabli typu:			Prąd ziemnozwarciowy I_{zc} [A/km] kabli typu:		
	YHKGY...	YHKGX...	YHKGXS...	YHKGY...	YHKGX...	YHKGXS..
16	0,33	0,22	0,21	1,07	0,73	0,69
25	0,39	0,26	0,25	1,28	0,86	0,83
35	0,45	0,30	0,29	1,46	0,98	0,94
50	0,50	0,33	0,32	1,63	1,08	1,05
70	0,58	0,38	0,37	1,89	1,25	1,22
95	0,66	0,43	0,42	2,14	1,42	1,38
120	0,72	0,48	0,47	2,36	1,56	1,52
150	0,79	0,52	0,51	2,59	1,71	1,67
185	0,87	0,57	0,56	2,83	1,86	1,83
240	0,97	0,64	0,63	3,18	2,09	2,06

Z danych zawartych w tablicy 8. wynika, że kable typu YHKGX... oraz YHKGXS... charakteryzują się zbliżonymi własnościami w zakresie wartości pojemności doziemnych oraz jednostkowych prądów ziemnozwarciowych (kable typu YHKGXS mają w tym zakresie własności minimalnie lepsze). Wartości te są przy tym o ok. 50% mniejsze od odpowiednich war-

tości wyznaczonych dla kabli typu YHKGY... w izolacji polwinitowej. Można więc stwierdzić, że z punktu widzenia bezpieczeństwa eksploatacji za najbardziej przydatne dla potrzeb ruchu górniczego uznać należy kable w izolacji z polietylenu usieciowanego.

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych w niniejszym artykule rozważań teoretycznych i obliczeń sformułować można następujące wnioski i uwagi końcowe:

- 1) Izolacja górniczych kabli elektroenergetycznych jest jednym z podstawowych elementów mających bezpośredni wpływ na uzyskanie odpowiednio wysokiego stopnia bezpieczeństwa eksploatacji i niezawodności dostawy energii elektrycznej do przodków wydobywczych.
- 2) Z właściwości materiałów izolacyjnych decydujących o ich przydatności wymienić należy przede wszystkim następujące parametry:
 - a) temperaturę graniczną dopuszczalną długotrwale, mającą bezpośredni wpływ na obciążalność prądową kabli,
 - b) rezystywność skrośną, decydującą o rezystancji izolacji doziemnej kabli,
 - c) przenikalność dielektryczną, określającą pojemności doziemne i wartości jednostkowych prądów ziemnozwarciowych.

Parametry te uznać należy za podstawowe kryteria oceny i doboru izolacji kabli.

- 3) Przyjmując wyszczególnione wyżej kryteria oraz uwzględniając podane w artykule tabelaryczne zestawienia parametrów kabli, należy stwierdzić, że optymalnym z punktu widzenia potrzeb ruchu górniczego materiałem na izolację kabli elektro-

energetycznych jest polietylen usieciowany XLPE stosowany w kablach typu YHKGXS... Uwzględniając dodatkowe wymagania, szczególnie w zakresie systemu uziemiających przewodów ochronnych (SUPO) oraz wytrzymałości mechanicznej, można przyjąć, że optymalnymi typami kabli, przeznaczonymi do stosowania w wyrobiskach podziemnych zakładów górniczych, są kable typu:

- YHKGXSEkyn – dla wyrobisk o nachyleniu do 45°,
- YHKGXSFo(p)yn – dla szybów i wyrobisk o nachyleniu powyżej 45°.

Literatura

1. *Badania nad możliwością zwiększenia obciążalności prądowej górniczych kabli i przewodów oponowych*, Projekt badawczy nr 9 9030 91 02, CEiAG EMAG, Katowice 1992 (niepublikowane).
2. Boron W.: *Linie kablowe w podziemnych zakładach górniczych*, Rozprawy i Monografie, Wyd. EMAG, Katowice 2006.
3. Boron W., Bogacz M.: *Metodyka wyznaczania pojemności doziemnych z uwzględnieniem rzeczywistych parametrów górniczych kabli i przewodów oponowych*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1996, nr 1(307).
4. PN-C-89265-1:1999. *Tworzywa sztuczne. Polwinity do przewodów i kabli elektrycznych. Klasyfikacja i oznaczenie*.
5. PN-E-01002:1997. *Słownik terminologiczny elektryki. Kable i przewody*.
6. PN-G-42060:1997. *Elektroenergetyka kopalniana. Obciążalność górniczych przewodów oponowych i kabli*.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.