



## Sergiusz Boron

Politechnika Śląska  
Wydział Górnictwa i Geologii  
Katedra Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa  
sergiusz.boron@polsl.pl

# WYBRANE ASPEKTY EKONOMICZNE DOBORU GÓRNICZYCH KABLI ELEKTROENERGETYCZNYCH

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia analizy ekonomicznej doboru kabli elektroenergetycznych. Koszty budowy i eksploatacji linii kablowych wynikają głównie z ceny kabla i kosztów strat energii powstających podczas pracy. Straty te są głównie uzależnione od prądu obciążenia i rezystancji żył. Straty mocy można zmniejszyć poprzez dobór kabla o zwiększonym przekroju żył, jednak zwiększa to koszty inwestycyjne. W praktyce projektowej zwykle dobiera się kable o możliwie jak najmniejszym przekroju. Podejście takie powoduje, że ze względu na długi czas życia kabla koszt strat powstałych w tym czasie może znacznie przekroczyć koszty inwestycyjne. Ekonomiczny dobór kabla oznacza minimalizację całkowitych rocznych kosztów, wynikających z amortyzacji i strat energii. Pełna analiza ekonomiczna poprzedzająca wybór kabla jest trudna z uwagi na brak informacji na temat przyszłego obciążenia kabla, ceny energii elektrycznej itp. W artykule przedstawiono wyniki przykładowych obliczeń doboru ekonomicznego kabli, uwzględniających koszty strat, amortyzacji i utrzymania linii. Omówiono również wpływ kompensacji mocy biernej na straty mocy w kablach.

**Słowa kluczowe:** kable elektroenergetyczne, straty energii.

## Wprowadzenie

Linie kablowe są jednym z najbardziej niewralgicznych elementów układu elektroenergetycznego kopalni. Dobór kabli elektroenergetycznych powinien uwzględniać w pierwszej kolejności ich właściwości zapewniające pewność ruchową i bezpieczeństwo eksploatacji. Ze względu na wysokie koszty jednostkowe (sięgające kilkuset tysięcy złotych za kilometr) oraz eksploatacyjne (zwią-

zane ze stratami mocy powstającymi podczas przesyłu energii) sieci kablowe wywierają również istotny wpływ na wskaźniki ekonomiczne zakładów górniczych. Nieuwzględnienie kosztów strat przy doborze przekroju żył roboczych kabla może sprawić, że w całym okresie eksploatacji wielokrotnie przewyższą one koszty inwestycyjne. Ocenia się, że straty powstające podczas przesyłu energii elektrycznej od miejsca wytworzenia do odbiorcy wynoszą od 8 do 15% całej wytworzonej energii [Sotir, Dobref, Popov, 2016]. Obecnie w ofercie producentów znajduje się kilkadziesiąt różnych typów kabli elektroenergetycznych górniczych. Zagadnienia związane z doбором typu kabla z uwagi na wymagania bezpiecznej i niezawodnej pracy były już przedmiotem wielu opracowań. Niniejszy artykuł ma na celu przeprowadzenie podobnej analizy z punktu widzenia wybranych aspektów ekonomicznych.

## 1. Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne linii kablowych

W przypadku sieci przemysłowych średniego napięcia projektanci z reguły nie uwzględniają kosztów strat energii przy doborze kabli. Straty te częściowo mogą być ograniczone poprzez konwencjonalne metody poprawy jakości energii elektrycznej, takie jak np. zwiększenie napięcia sieci przesyłowej, poprawa współczynnika mocy i ograniczenie odkształceń sinusoidy prądu. Proponowane sposoby zwiększenia przepustowości linii, tj. zastosowanie materiałów przewodzących o zwiększonej konduktywności lub kabli o zwiększonej powierzchni chłodzenia [Latypov, Sushkov, 2016], mogą być trudne do wdrożenia w rzeczywistych warunkach przemysłowych. Przy rozpatrywaniu ekonomicznych aspektów doboru kabli elektroenergetycznych należy wziąć pod uwagę zarówno koszty związane z budową linii kablowej (koszty inwestycyjne), jak i koszty wynikające z jej użytkowania (koszty eksploatacyjne).

W trakcie eksploatacji linii kablowej występują koszty związane m.in.:

- z amortyzacją początkowego nakładu inwestycyjnego,
- ze stratami mocy spowodowanymi przepływem prądu obciążenia przez żyły robocze,
- ze stratami dielektrycznymi w izolacji,
- ze stratami wynikającymi wskutek zasilania odbiorników napięciem zmniejszonym o spadek napięcia w kablu,
- z koniecznością wykonywania napraw i remontów linii oraz innych czynności związanych z utrzymaniem linii kablowej.

Niektóre z wymienionych czynników kształtujących całkowity koszt budowy i eksploatacji linii wzrastają wraz z wartością przekroju żył roboczych kabla (np. cena kabla, koszt jego transportu i ułożenia, a także, w mniejszym stopniu, koszt osprzętu). Z kolei niektóre z kosztów (związane z przepływem prądu obciążenia) maleją wraz ze wzrostem przekroju żył.

## 2. Kryteria doboru kabli

Podstawowym kryterium doboru przekroju znamionowego żył roboczych kabli elektroenergetycznych jest obciążalność prądowa długotrwała. Decydujący wpływ na jej wartość ma konstrukcja kabla, a w szczególności rezystancja żył, zależna od rodzaju materiału, z którego są wykonane (miedź lub aluminium) i ich przekroju oraz wartość temperatury dopuszczalnej długotrwanie materiału izolacyjnego. Mniejszy wpływ na obciążalność mają pozostałe elementy konstrukcyjne, a także warunki ułożenia kabla – temperatura pomieszczenia, obecność w pobliżu kabla innych przewodów itp. Współcześnie produkowane kable górnicze posiadają żyły robocze miedziane oraz izolację wykonaną z polwinitu lub polietylenu usieciowanego. Wymagania dotyczące spadków napięcia podczas pracy ustalonej i w stanach nieustalonych oraz warunków zwarciovych mogą przyczynić się do konieczności skorygowania (zwiększenia) przekroju żył roboczych. W praktyce projektowej z reguły dąży się do tego, aby dobrać kabel o najmniejszym z możliwych przekrojów żył (uwzględniając aktualne i przyszłe obciążenie kabla oraz układ sieci elektroenergetycznej). Takie podejście daje szereg korzyści, z których można wymienić:

- niższy koszt kabla o mniejszym przekroju żył roboczych,
- łatwiejszy transport i układanie,
- niższy koszt osprzętu i napraw,
- korzystniejsze właściwości ruchowe wynikające z mniejszej masy, średnicy zewnętrznej i promienia zgięcia,
- mniejsze wartości prądów ziemnozwarciowych.

Jak już wspomniano, zwiększenie przekroju znamionowego żył roboczych kabla powoduje zmniejszenie kosztów związanych ze stratami mocy w żyłach oraz kosztów związanych z zasilaniem urządzeń napięciem obniżonym wskutek spadków napięć. Przy analizie kosztów należy wziąć pod uwagę fakt, że kable elektroenergetyczne średniego napięcia są zwykle eksploatowane przez stosunkowo długi okres (powyżej 20-30 lat) i sumaryczny koszt strat powstałych w tak długim czasie może być znaczny. Z oczywistych powodów pełna analiza eko-

onomiczna poprzedzająca dobór kabla jest utrudniona m.in. ze względu na brak informacji dotyczących kształtowania się przyszłego obciążenia kabla, cen energii elektrycznej itp. [Sujit, Anil, 2002]. Zadanie optymalnego doboru kabla z uwzględnieniem czynników ekonomicznych sprowadza się do minimalizacji funkcji celu określającej całkowity koszt  $C$ , zawierający koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne:

$$\min C = \left( a \cdot \frac{I^2}{S} + b \cdot S \right) L$$

gdzie:

$a$  – współczynnik zależny od jednostkowego kosztu energii elektrycznej, czasu utrzymywania się oraz zmienności obciążenia kabla i rezystywności materiału przewodnika [PLN·mm<sup>2</sup>/(A<sup>2</sup>·km)],

$b$  – współczynnik zależny od stosunku jednostkowego kosztu kabla i przekroju żył [PLN/(km·mm<sup>2</sup>)],

$S$  – zmienna decyzyjna, przyjmująca dyskretne wartości odpowiadające przekrojom znamionowemu żył roboczych [mm<sup>2</sup>],

$L$  – długość odcinka kabla [km].

Analityczne wyznaczenie współczynnika  $a$  napotyka trudności, gdyż musi być on określony indywidualnie dla każdego przypadku, ponieważ jest zależny od innych parametrów technicznych i ekonomicznych, których kształtowanie się w przyszłości może być trudne do przewidzenia [Zhuding et al., 2000].

### 3. Czynniki wpływające na wielkość strat przy przesyłaniu energii

Straty mocy powstające podczas eksploatacji kabli elektroenergetycznych powodowane są wydzielaniem ciepła w żyłach roboczych wskutek przepływu prądu obciążenia oraz, w mniejszym stopniu, stratami dielektrycznymi w izolacji. Ciepło w kablu może być wytworzone również w wyniku przepływu prądów wirowych i wyrównawczych przez inne przewodzące elementy (ekrany, pancerze), jednakże w kablach trójżyłowych obciążonych symetrycznie straty te są pomijalnie małe [Boron, 1999]. Straty w żyłach roboczych zależą od rezystancji żyły oraz wartości prądu obciążenia kabla. Rezystancja żyły miedzianej jest zależna od jej przekroju i temperatury, przy czym dla większych przekrojów należy dodatkowo uwzględnić zjawisko naskórkowości i efekt zbliżenia. Żyły o mniejszym przekroju mają większą rezystancję i przy takim samym prądzie obciążenia straty powodowane jego przepływem są większe w porównaniu z żyłami o większym przekroju. Straty dielektryczne w izolacji zależą od napię-

cia znamionowego względem ziemi, pojemności doziemnej kabla oraz współczynnika strat dielektrycznych  $\tan \delta$ . Współczynnik  $\tan \delta$  zależny jest od materiału, z którego wykonano izolację, przy czym jego wartość dla polwinitu wynosi 0,1, natomiast dla polietylenu usieciowanego 0,004. Z tego względu w kablach na napięcie fazowe mniejsze niż 63,5 kV o izolacji z polietylenu usieciowanego strat dielektrycznych w izolacji nie uwzględnia się [IEC-287-1-1, 1995]. Jak wynika z obliczeń [Boron, 1999], w kablach na napięcie 3,6/6 kV o izolacji polwinitowej, przy obciążeniu prądem dopuszczalnym, długotrwanie strat dielektryczne w izolacji stanowią 1÷2% strat w żyłach roboczych. Przy mniejszym obciążeniu prądowym udział strat w izolacji się zwiększa. Warto zaznaczyć, że w kablach z ekranami indywidualnymi straty dielektryczne w izolacji są większe niż w kablach nieekranowanych, co wynika z ich większej pojemności doziemnej.

#### 4. Koszty strat energii w kablach

Koszt strat powstających podczas przesyłu zależy od ceny energii elektrycznej. Cena ta dla odbiorców przemysłowych rozliczających się w systemie taryfowym uzależniona jest od tzw. strefy czasowej (szczyt przedpołudniowy, szczyt popołudniowy oraz pozostałe godziny doby), przy czym godziny obowiązywania poszczególnych stref czasowych zmieniają się w związku z porami roku. Dla odbiorców energii będących uczestnikami rynku bilansującego cena ustalana jest dla każdej godziny doby. Średnia ważona cena energii elektrycznej w okresie od 1.01.2015 r. do 31.08.2015 r. na rynku bilansującym wyniosła 145,62 zł/MWh (według danych Polskich Sieci Elektroenergetycznych S.A.). Opłata za przesył energii jest różna u różnych operatorów sieci przesyłowej, zależy również od grupy taryfowej odbiorcy. W przypadku firmy Tauron Dystrybucja dla odbiorców z grupy taryfowej A23 z obszaru gliwickiego opłata przesyłowa zmienna wynosi 10,14 zł/MWh. Przyjęto, że sumaryczny koszt energii elektrycznej jest równy 155,76 zł/MWh. Dla zobrazowania wielkości rocznych kosztów strat powstających w 1 km kabla podczas przesyłu energii elektrycznej w tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń przeprowadzonych przy założeniu, że kabel w ciągu całego rozpatrywanego okresu obciążony jest prądem równym obciążalności długotrwałej. Obliczenia wykonano dla kabla opancerzonego o izolacji z polietylenu usieciowanego (XS); w poszczególnych kolumnach tabeli zestawiono przekrój znamionowy żył roboczych  $s$ , obciążalność prądową długotrwałą  $I_{dd}$ , moc strat w 1 km kabla  $\Delta P$ , koszt tych strat  $K_{\Delta P}$ , a także koszt 1 km nowego kabla  $K_k$  [Tele-Fonika, 2015] oraz stosunek  $K_k/K_{\Delta P}$ .

**Tabela 1.** Koszty strat w odcinku kabla typu YHKGXSfoyn o długości 1 km obciążonego prądem dopuszczalnym długotrwale

s [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>ud</sub> [A]	ΔP [kW]	K <sub>ΔP</sub> [zł]	K <sub>k</sub> [zł]	K <sub>k</sub> /K <sub>ΔP</sub>
50	209	64,7	88 233	244 865	2,8
70	259	68,8	93 834	276 671	2,9
95	314	72,8	99 321	365 703	3,7
120	359	75,4	102 921	371 549	3,6
150	408	79,0	107 738	429 275	4,0
185	466	82,3	112 324	491 177	4,4
240	550	87,2	119 048	554 225	4,6

Jak wynika z danych przedstawionych w tab. 1, już po kilku latach eksploatacji koszt strat może przekroczyć nakład inwestycyjny poniesiony przy zakupie kabla. Przy długim okresie użytkowania linii koszty strat mogą wielokrotnie przewyższyć koszt zakupu kabla. Kable elektroenergetyczne należą do tych składników majątku zakładów przemysłowych, które można zaliczyć do środków trwałych i z tego względu podlegają one odpisom amortyzacyjnym. Jak już wspomniano we wcześniejszej części pracy, zastosowanie droższego kabla o większym przekroju żył roboczych powoduje mniejsze straty powstające podczas przesyłu danej wartości mocy. Można więc mówić o ekonomicznym warunku doboru przekroju żył roboczych kabla sformułowanym następująco: **suma rocznych kosztów wynikających z amortyzacji, utrzymania linii oraz strat mocy powinna być jak najmniejsza.**

Koszt rocznego utrzymania linii kablowej, obejmujący m.in. naprawy uszkodzeń, jest trudny do przewidzenia i w praktycznych obliczeniach przyjmuje się, że wynosi on ok. 1% ceny kabla [Heinhold, 1990]. Do czynników określających roczną amortyzację linii kablowej zalicza się koszt inwestycyjny, koszt utrzymania linii oraz stawkę amortyzacyjną, zależną m.in. od całkowitego (przewidywanego) czasu eksploatacji linii i sytuacji na rynku kapitałowym. W przykładowych obliczeniach przeprowadzonych w niniejszej pracy przyjęto wartość stawki amortyzacyjnej równą 8%.

## 5. Przykład doboru przekroju żył kabla z uwzględnieniem czynników ekonomicznych

Dla zilustrowania przeprowadzonych analiz wykonano przykładowe obliczenia ekonomicznego doboru przekroju znamionowego żył roboczych kabla, przy założeniu, że linią o napięciu znamionowym 6 kV przesyłana będzie moc pozorna równa 1 MVA, co odpowiada wartości prądu obciążenia 96 A. Dla uproszczenia założono, że w ciągu rozpatrywanego okresu czasu (1 rok) wartość

prądu w kablu nie zmienia się. Obliczenia przeprowadzono dla kabli o izolacji wykonanej z polietylenu usieciowanego (YHKGXSFoyn) oraz z polwinitu (YHKGyFoyn) dla zakresu przekrojów żył roboczych od 50 do 240 mm<sup>2</sup>. W tabeli 2 przedstawiono roczne koszty strat  $K_{\Delta P}$ , amortyzacji  $K_a$  oraz koszt sumaryczny  $\Sigma K$  dla kabli typu YHKGXSFoyn, natomiast w tabeli 3 dla kabli typu YHKGyFoyn. W przypadku kabla o izolacji polwinitowej poza stratami w żyłach  $\Delta P_z$  w obliczeniach uwzględniono również wielkość strat dielektrycznych w izolacji  $\Delta P_i$ .

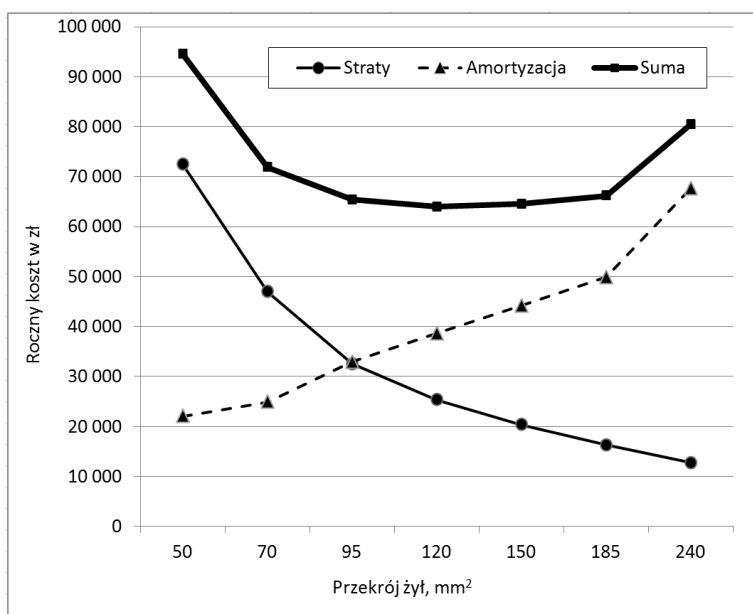
**Tabela 2.** Roczne koszty strat powstających w 1 km kabla typu YHKGXSFoyn dla mocy przesyłanej 2 MVA

s [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>dd</sub> [A]	$\Delta P$ [kW]	$K_{\Delta P}$ [zł]	$K_a$ [zł]	$\Sigma K$ [zł]
50	209	53,1	72 439	22 038	94 477
70	259	34,4	46 930	24 900	71 831
95	314	23,8	32 482	32 913	65 396
120	359	18,5	25 309	38 635	63 944
150	408	14,9	20 339	44 206	64 545
185	466	11,9	16 296	49 880	66 176
240	550	9,3	12 753	67 692	80 445

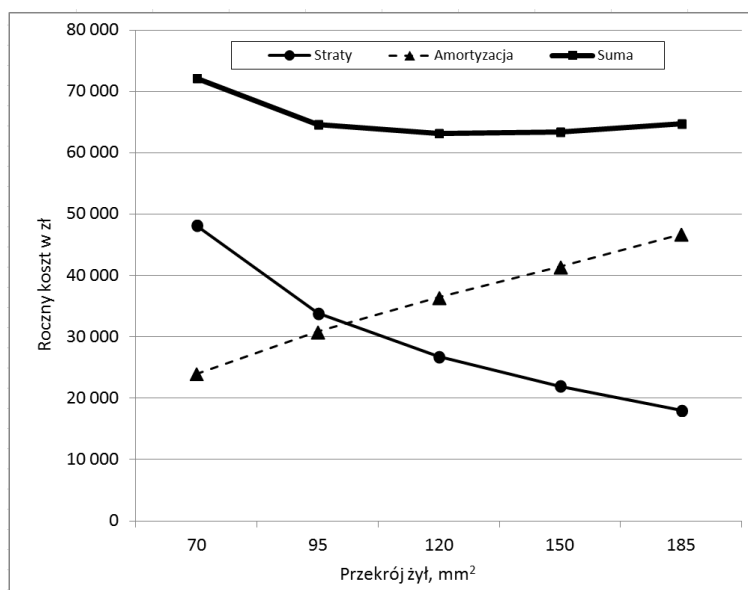
**Tabela 3.** Roczne koszty strat powstających w 1 km kabla typu YHKGyFoyn dla mocy przesyłanej 2 MVA

s [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>dd</sub> [A]	$\Delta P_z$ [kW]	$\Delta P_i$ [kW]	$\Sigma \Delta P$ [kW]	$K_{\Delta P}$ [zł]	$K_a$ [zł]	$\Sigma K$ [zł]
70	209	34,4	0,63	35,0	48117	23 987	72 104
95	254	23,8	0,71	24,5	33813	30 851	64 664
120	292	18,5	0,78	19,3	26763	36 436	63 198
150	331	14,9	0,86	15,8	21937	41 441	63 377
185	380	11,9	0,93	12,8	18015	46 684	64 699

Jak wynika z danych zawartych tabeli 3, udział strat dielektrycznych w izolacji zwiększa się wraz z przekrojem żył i osiąga ok. 8% wielkości strat w żyłach roboczych dla przekroju 185 mm<sup>2</sup> (wynika to z relatywnie niewielkiego obciążenia prądowego w odniesieniu do obciążalności długotrwałej). W przypadku utrzymywania kabla pod napięciem bez obciążenia prądowego, 100% strat stanowią straty dielektryczne, a ich roczny koszt wynosi ponad 5 tys. zł (dla kabla o izolacji polwinitowej o przekroju 185 mm<sup>2</sup>). Sumaryczny roczny koszt eksploatacji linii kablowej jest sumą kosztów wynikających z amortyzacji (przyjęto 8% ceny kabla), utrzymania linii (1% ceny kabla) oraz kosztów wynikających ze strat dielektrycznych i kosztów strat obciążeniowych. Trzy pierwsze z powyższych składników zwiększają się wraz ze wzrostem przekroju żył, natomiast koszty strat obciążeniowych maleją. Na rys. 1 i 2 przedstawiono zależność sumarycznego kosztu eksploatacji linii kablowej od przekroju żył roboczych dla kabli YHKGXSekyn oraz YHKGyEkyn.



Rys. 1. Sumaryczny roczny koszt eksploatacji kabla typu YHKGXSekyn w zależności od przekroju żył roboczych



Rys. 2. Sumaryczny roczny koszt eksploatacji kabla typu YHKGYekyn w zależności od przekroju żył roboczych



Jak wynika z wykresów przedstawionych na rys. 1 i rys. 2, dla rozpatrywanego przykładu optymalny pod względem ekonomicznym jest dobór kabla o przekroju żył roboczych  $120 \text{ mm}^2$  (z uwagi na obciążalność prądową długotrwałą wystarczający jest przekrój  $50 \text{ mm}^2$  lub  $70 \text{ mm}^2$ , w zależności od typu kabla). W przypadku doboru droższych kabli (np. opancerzonych) minimum sumarycznych rocznych kosztów występuje dla mniejszego przekroju, podobna sytuacja ma miejsce wtedy, gdy obciążenie prądowe kabla lub roczny czas użytkowania kabla jest mniejszy. Warto dodać, że obciążenie kabla wynika nie tylko z poboru mocy czynnej przez odbiorniki, ale również z przepływu mocy biernej. Z tego względu kompensacja mocy biernej powoduje zmniejszenie strat przesyłowych pod warunkiem, że zostanie ona przeprowadzona w pobliżu odbiorników. Zastosowanie kompensatorów w pobliżu transformatorów zasilających sieć SN poprawia wprawdzie współczynnik mocy na przyłączy, ale nie zmniejsza strat przesyłowych w układzie elektroenergetycznym zakładu przemysłowego.

### **Podsumowanie**

Na podstawie przeprowadzonych analiz i obliczeń można sformułować następujące wnioski i uwagi końcowe:

- straty energii w kablu są istotnym czynnikiem kształtującym koszt eksploatacji linii,
- straty energii wynikają głównie z nagrzewania żył prądem obciążenia, ale istotne znaczenie w przypadku izolacji wykonanej z polwinitu mogą mieć również straty dielektryczne w izolacji,
- dobór optymalnego, z uwzględnieniem czynników ekonomicznych, przekroju żył kabli zależy w dużej mierze od kosztów strat energii w kablu,
- dokładna analiza kosztów jest utrudniona ze względu na brak wiedzy dotyczącej przyszłych kosztów energii elektrycznej, sytuacji na rynku kapitałowym oraz kształtowania się obciążenia kabla,
- koszty wynikające ze strat energii w kablu można ograniczyć poprzez odpowiednią (lokalną lub grupową) kompensację mocy biernej,
- decyzje doboru kabla o większym przekroju żył roboczych muszą być podejmowane z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa eksploatacji sieci; w szczególności należy uwzględnić możliwość zwiększenia się prądów ziemnozwarciowych.

## Literatura

- Boron S. (1999), *Model matematyczny procesów cieplnych zachodzących w górniczych kablach i przewodach oponowych i jego zastosowanie do analizy obciążalności prądowej*, rozprawa doktorska, Gliwice (niepublikowana).
- Heinhold L. (1990), *Power Cables and their Application*, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin.
- IEC-287-1-1 (1995), *Electric Cables – Calculation of the Current Rating. Part 1: Current Rating Equations (100% Load Factor) and Calculation of Losses. Section 1: General*.
- Latypov I.S., Sushkov V.V. (2016), *Reduction of Active Power Losses in Overhead Power Transmission Lines Rated for 6-35 kV*, X International IEEE Scientific And Technical Conference “Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines” (Dynamics), 15-17 November 2016, Omsk, Russia.
- Sotir A., Dobref V., Popov P. (2016), *Relative to the Increase of Electricity Transmission Efficiency by Cables*, 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2016), Iasi, Romania.
- Sujit M., Anil P. (2002), *Optimal Selection of Conductors for Distribution Feeders*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 17, No. 1, February.
- Tele-Fonika Kable S.A. (2015), *Cennik wyrobów*, czerwiec.
- Zhuding W., Haijun L., David C.Y., Xiaohui W., Hongquan S. (2000), *A Practical Approach to the Conductor Size Selection in Planning Radial Distribution Systems*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, No. 1, January.

## SELECTED ECONOMIC ASPECTS OF MINING POWER CABLES SELECTION

**Summary:** The paper presents selected issues of economic analysis of medium voltage mining power cables selection. The construction and operation costs of cable lines are primarily associated with the price of the cable and the cost of power losses arising during power transmission. These losses are mainly dependent on the load current and the resistance of conductor. The power loss can be reduced by choosing a cable with an increased cross section of conductors, but this increases the investment costs. In the current design practice designers usually tend to select cables with the least possible cross sections (taking into account present-day and future load of the cable, as well as the layout of power system). This approach gives a number of benefits, but given the relatively long lifetime of the cable (up to several dozen years), the total cost of losses arising during this time may significantly exceed investment costs. So the economic condition of the selection of cable conductors cross-section can be formulated: “the total annual costs, resulting from depreciation, maintenance and power losses, should be minimal”. For obvious reasons, full economic analysis preceding the selection of the cable is difficult, due to the lack of information, on the future load of the cable, electricity prices etc. The paper presents the results of sample calculations of economic selection of cables

including the cost of losses, depreciation costs and maintenance of the line. The impact of the reactive power compensation on the power losses in the cables has been also presented.

**Keywords:** power cables, energy losses.