

dr inż. ARTUR KOZŁOWSKI
dr inż. MAREK KRYCA
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG

mgr inż. MARCIN MISTARZ
P.P.H.U. MARTECH-PLUS Marcin Mistarz Sp.j.

Aspekty wdrożenia aparatury pomiarowej do lokalizacji uszkodzeń kabli i przewodów oponowych w urządzeniach zasilających w strefach zagrożonych wybuchem

Aspects of implementing the measuring apparatus to the location of damage to cables and rubber sheathed mining cables in the zones with the risk of the explosion in powering devices

Artykuł opisuje problematykę zadania badawczego ukierunkowanego na opracowanie rozwiązań wraz z aparaturą pomiarową umożliwiającą przeprowadzenie pomiarów oraz diagnozowanie kabli i przewodów elektroenergetycznych w wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Przedstawiono sposób realizacji projektu przez konsorcjum naukowo-przemysłowe oraz opisano opracowane urządzenia RAKo i RAKn tworzące system nadawczo-odbiorczy, będące rezultatem projektu. Odniesiono się także do możliwości zabudowania aparatury w urządzeniu zasilającym odbiory w sieciach niskiego napięcia w układzie elektrycznym stacji transformatorowej typu MAR-G.

The article is describing issues of the research task directed at developing solutions, along with the measuring apparatus, enabling to take measurements and diagnose electrical power engineering cables and wires in the mine workings with the risk of explosion of methane and/or coal dust. The way of realisation of the project by the scientific-industrial consortium was presented as well as RAKo and RAKn devices, that were developed, were described, which are creating the transmitting-receiving system, being a result of the project. One has also referred to the possibility of developing apparatus in the device that is powering receptions in the low voltage webs, in the electric system of transformer station of the MAR-G type.

1. WPROWADZENIE

W Instytucie Technik Innowacyjnych EMAG opracowano wiele rozwiązań mających na celu m.in. zwiększenie poziomu bezpieczeństwa osób pracujących

1. INTRODUCTION

At the Institute of Innovative Technologies EMAG, a lot of solutions, aimed at, among others, increasing the security level of persons working at mining units,

w zakładach górniczych, przede wszystkim w strefach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Szeroki zakres kompetencji jego pracowników umożliwił realizację opracowań w zakresie bezpiecznego zasilania wyrobisk górniczych w energię elektryczną oraz ich monitorowania, jak również kontrolowania zagrożeń naturalnych.

Zdobyte dzięki temu doświadczenie umożliwia współpracę zarówno z jednostkami badawczymi, jak i przedsiębiorstwami, czego przykładem jest prezentowany projekt badawczy zrealizowany w konsorcjum z jednostkami badawczymi oraz przedsiębiorstwem. W artykule przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań oraz kwestie związane z procesem wdrażania opracowanego rozwiązania w zakładach górniczych, jak również propozycję jego zastosowania w układzie elektrycznym stacji transformatorowej. Możliwości prezentowania aspektów wdrożeniowych dotyczących stacji transformatorowych wynikają z wieloletniej współpracy Instytutu EMAG z firmą Martech-Plus i realizowanych wcześniej wspólnie projektów oraz prac rozwojowych.

2. OMÓWIENIE PROBLEMU

W podziemnych zakładach górniczych kable i przewody elektroenergetyczne są narażone na szereg uszkodzeń związanych z ich eksploatacją w trudnych warunkach geologiczno-górniczych. Najbardziej zagrożone są przewody zasilające maszyny i urządzenia ruchome, takie jak np. kombajny ścianowe, chodnikowe i inne. W kopalniach węgla kamiennego urządzenia te pracującą w warunkach zagrożenia wybuchem pyłu węglowego oraz – bardzo często – wybuchem metanu.

Po tragedii z 18 września 2009 r. w KHW S.A. KWK Wujek Ruch Śląsk komisja, powołana przez Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego dla zbadania przyczyn oraz okoliczności zapalenia i wybuchu metanu, sformułowała wnioski, spośród których jeden dotyczył konieczności opracowania przyrządu do przeprowadzania pomiarów oraz diagnozowania kabli i przewodów elektroenergetycznych w podziemnych wyrobiskach górniczych, w tym także zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. W konsekwencji w ramach projektu strategicznego „Poprawa bezpieczeństwa w kopalniach”, zainicjowanego przez Prezesa WUG, ogłoszony został przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju konkurs m.in. na zadanie badawcze nr 6 pt. „Opracowanie rozwiązań wraz

above all in zones with the risk of explosion of methane and/or coal dust, were developed. Wide range of competencies enabled the realisation of studies in safe supply of mine workings in the electric energy and monitoring them, as well as controlling natural risks.

Experience and wide competence, acquired thanks to that, enable cooperation both with research units, as well as enterprises, and the presented research project, carried out in the consortium with research units and the enterprise, is an example of such cooperation. In the article one has presented the results and issues associated with the solution implementation process at mining units, as well as the proposition to use the transformer station in the electric system. Possibilities of presenting the development aspects concerning transformer stations result from the long-term cooperation of the Institute EMAG with the Martech-Plus company as well as projects, carried out earlier together, and developmental works.

2. PROBLEM DESCRIPTION

At the underground mining units, cables and electrical power engineering wires are exposed to the row of damages associated with their use in difficult geological-mining conditions. The power cords of the machine and moving devices, such as e.g. shearer loaders, road headers and other, are subjected to the biggest exposure. In mines of the hard bituminous coal, these devices are working in conditions with the risk of explosion of coal dust and - very often - with explosion of methane.

After the tragedy that has taken place on 18 September 2009 in KHW S.A. KWK Wujek Ruch Śląsk, the commission, established by the President of the State Mining Authority for examining causes and circumstances of inflammation and explosion of methane, expressed the conclusions, out of which one concerned the need to develop the device that will be taking measurements and diagnosing cables and electrical power engineering wires in the underground mine workings, including these with the risk of explosion of methane and/or coal dust. In consequence, as part of the strategic project entitled "Improvement in the safety in mines", initiated by the WUG [State Mining Authority] President, the National Centre for Research and Development announced the competition, among others, for research task No. 6 entitled "Developing solutions along with the measuring apparatus enabling to take measurements and diagnose cables and electrical power engineering wires in

z aparaturą pomiarową umożliwiającą przeprowadzenie pomiarów oraz diagnozowanie kabli i przewodów elektroenergetycznych w wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego”. Wynikiem tego konkursu było przyznanie prawa do realizacji projektu w zakresie tego zadania konsorcjum naukowo-przemysłowemu w składzie: Instytut Technik Innowacyjnych EMAG – lider konsorcjum i lider projektu, Instytut Tele- i Radiotechniczny, Wydział Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej, Główny Instytut Górnictwa KD Barbara, PPHU Martech-Plus Sp. j.

Konsorcjum stanęło przed poważnym wyzwaniem, gdyż dotychczas na całym świecie nie było takiego rozwiązania technicznego ani urządzenia, które można by było stosować w warunkach zagrożenia wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Powszechnie znane i wykorzystywane urządzenia [7, 2, 4, 6, 1, 5] podczas prac lokalizacyjnych stwarzają zagrożenie wybuchu i porażenia prądem elektrycznym. Wynika to z konieczności stosowania dużych energii w trakcie procesu lokalizacji uszkodzenia. Dlatego też osoby zajmujące się tematyką tego typu pomiarów i diagnostyką zostały postawione przed trudnym do rozwiązania problemem, związanym z koniecznością osiągnięcia zakładanego celu projektu.

Założono, że zadanie badawcze, realizowane z myślą o zastosowaniu w zakładach górniczych ze szczególnym uwzględnieniem wyrobisk zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, przyniesie następujące rezultaty główne:

- opracowana metoda pomiarowa dla niskich i średnich poziomów napięcia zasilania, pozwalająca na przeprowadzenie pomiarów oraz diagnozowanie kabli i przewodów elektroenergetycznych,
- opracowane założenia parametrów i właściwości funkcjonalnych prototypu aparatury do pomiarów oraz diagnozowania kabli i przewodów elektroenergetycznych – dla wybranych, najczęściej stosowanych typów kabli i przewodów elektroenergetycznych opracowany prototyp aparatury do pomiarów oraz diagnozowania kabli i przewodów elektroenergetycznych wraz z dokumentacją techniczną prototypu wykonaną po przeprowadzeniu niezbędnych badań ATEX-owych i uwzględniającą zmiany, jakie w wyniku badań należało wprowadzić do konstrukcji aparatury,
- opracowane dla użytkownika aparatury „Zasady użytkowania aparatury przy przeprowadzaniu pomiarów oraz diagnozowaniu kabli i przewodów elektroenergetycznych w wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego”.

the mine workings with the risk of explosion of methane and/or coal dust". The result of this competition was granting the realisation of the project to the scientific-industrial consortium, composed of: Institute of Innovative Technologies EMAG - the consortium leader and the leader of the project, Tele and Radio Research Institute, Faculty of Mining and Geology of the Silesian University of Technology, Central Mining Institute KD Barbara, PPHU Martech-Plus Spółka z o.o. [en.limited liability company], for the realisation of this task.

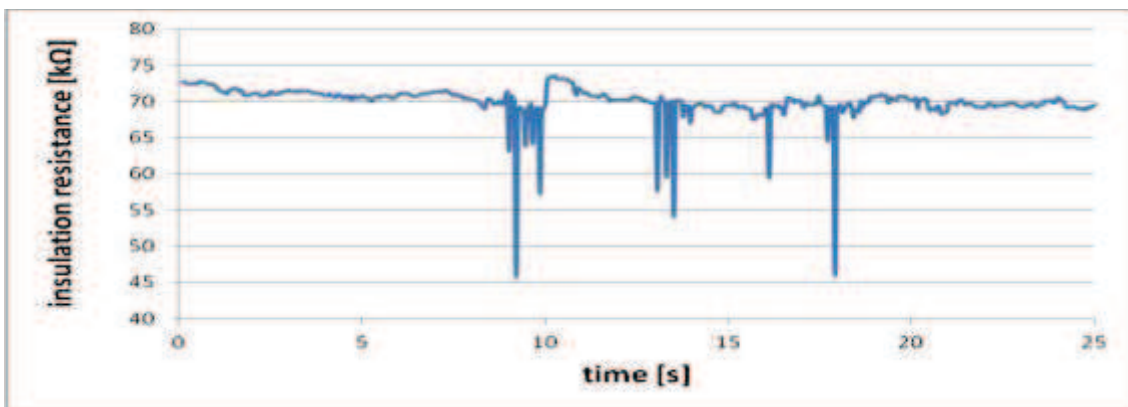
The above task was extremely difficult for the realisation, because so far, on the whole world, there was not such technical solution of the device, which would be possible to apply in the conditions of the risk of explosion of methane and/or coal dust. Universally known and applied devices, during location works, are posing a danger of explosion and paralysis of the electric power. It results from the necessity of applying the great energies during the process of location of the damage. That is why, persons dealing with the subject matter of measurements of this type and diagnostics were put before problem that was difficult to solve, and with the problem of a need to achieve the assumed aim of the project.

One has assumed, that the result of the realised research task, for applying in mines, with the particular attention to take into account the mine workings with the risk of explosion of methane and/or coal dust, will be the following main results:

- developed measuring method for low and average levels of the supply voltage, letting for taking measurements and diagnose cables and electrical power engineering wires,
- developed assumptions of parameters and functional properties of the prototype of apparatus to measurements and diagnosis of cables and electrical power engineering wires - for chosen, most often applied types of cables and electrical power engineering wires, developed prototype of apparatus to measurements and diagnosis of cables and electrical power engineering wires, along with the technical documentation of the prototype, made after conducting necessary ATEX research and including changes, which one should implement to the construction of apparatus as a result of such research,
- developing for the user of apparatus "Principles of using apparatus at taking measurements and making diagnosis of cables and electrical power engineering wires in the mine workings with the risk of explosion of methane and/or coal dust".

3. APARATURA POMIAROWA

Opracowana w ramach projektu metoda lokalizacji wykorzystuje zjawisko zmiany rezystancji uszkodzenia pod wpływem zmiany siły docisku oddziaływującej na miejsce uszkodzenia. Dla zaobserwowania zjawiska włącza się między uszkodzoną żyłę a powłokę przewodzącą omomierz do pomiaru rezystancji. Jeżeli na miejsce uszkodzenia będzie oddziaływać się siłą zewnętrzną (uderzenie w kabel lub jego odgięcie), to przyrząd pokaże gwałtowne zmiany rezystancji. Przykładowy przebieg zmiany rezystancji izolacji przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Zmiany rezystancji izolacji pod wpływem uderzeń mechanicznych w miejscu uszkodzenia kabla [3]
 Fig. 1. Changes of the insulation resistance under the influence of mechanical surges in the place of damage of the cable [3]

Przewodzącą warstwę, bezpośrednio otaczającą miejsce uszkodzenia, może stanowić element konstrukcyjny otaczający żyłę roboczą lub ścieżka przewodząca wytworzona w procesie przepływu przez miejsce uszkodzone prądu o odpowiedniej wartości. Ścieżka przewodząca może być wytworzona w wyniku przepływu prądu uszkodzenia pod wpływem napięcia roboczego sieci. Stanowi ją warstwa zwęglonej izolacji roboczej. Metodologia lokalizacji uszkodzenia polega na ciągłym pomiarze rezystancji uszkodzenia przy jednoczesnym sztucznym wywołaniu zmian wewnętrznych naprężeń mechanicznych w elementach konstrukcyjnych przewodu. Zmianę naprężeń mechanicznych można uzyskać przez uderzenie w przewód lub jego przeginanie czy rozciąganie. Przemieszczając oddziaływanie siłą zewnętrzną wzdłuż przewodu, można stwierdzić, że przy zbliżeniu do miejsca uszkodzenia wartość mierzonej rezystancji ulega gwałtownym zmianom. Największe zmiany można zarejestrować w miejscu uszkodzenia. Sposób prowadzenia przewodów w wyrobiskach podziemnych ułatwia zastosowanie tej metody, która

3. MEASURING APPARATUS

The method of location, developed as part of the project, is using the phenomenon of the change of resistance of the damage, as a result of the change of power of clamp, influencing the place of damage. For observing the phenomenon, between the damaged strand and the conductive sheath, one is including ohmmeter for the measurement of the resistance. If one will influence the place of damage with the outside power (hitting the cable or straightening it out), then the device will show the rapid changes of resistance. The exemplary course of the change of the insulation resistance is presented on picture 1.

The conductive layer, directly surrounding the place of the damage, can constitute the construction element surrounding the working strand or conductive path, produced in the process of the flow, by the damaged place, of the electricity about the appropriate value. The conductive path can be produced as a result of the flow of electricity of the damage under the influence of the operating voltage of the network. A layer of charred working insulation constitutes it. The methodology of the location of damage consists in the constant measurement of the resistance of the damage, at simultaneous process of causing the artificial changes of inner mechanical stresses in structural elements of the cable. It is possible to obtain the change of mechanical stresses through hitting the wire, curving it or stretching. Transferring the influence by the outside power along the cable, it is possible to state, that at bringing closer to the place of damage, the value of the measured resistance is undergoing rapid changes. It is possible to register the biggest changes in the place of damage. The way of leading wires in the underground mine workings is

wymaga dostępu do przewodu praktycznie na całej jego długości. Aparatura pomiarowa składa się z dwóch części:

- układu pomiaru rezystancji wraz z nadajnikiem przesyłającym informację o wykrytych zmianach rezystancji, który będzie mocowany na początku badanego odcinka (część stacjonarna);
- przenośnego odbiornika odbierającego informację o zmianach rezystancji, którym posługiwać się będzie osoba lokalizująca uszkodzenie.

Aby możliwe było wykorzystanie tej metody, konieczne jest zastosowanie szybkiego miernika rezystancji. Wpływ na amplitudę zmian rezystancji izolacji ma siła udaru i odległość miejsc przeprowadzania testu od miejsca uszkodzenia kabla. Na czułość urządzenia mają wpływ poziom zakłóceń elektromagnetycznych w miejscu testów oraz wartość rezystancji uszkodzenia, która jest silnie nieliniowa i zależy od wartości napięcia pomiarowego. Zaletą metody jest możliwość zastosowania małego prądu pomiarowego, co umożliwia zachowanie iskrobezpieczeństwa układu. Dobór prądu pomiarowego był wynikiem kompromisu pomiędzy wymaganiami bezpieczeństwa a maksymalną czułością układu, zwłaszcza w przypadku stosowania urządzenia dla odcinków kabla długości powyżej 100 m.

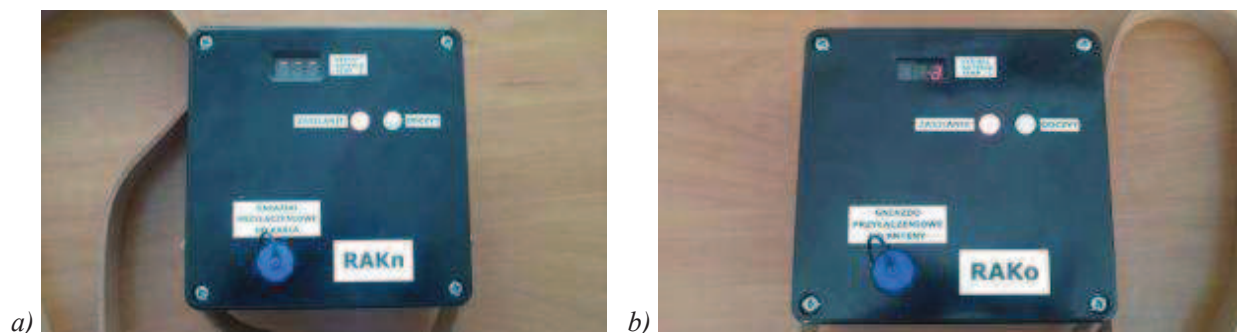
Zgodnie z założeniami projektu wykonano prototyp zestawu urządzeń wraz z przynależnym oprogramowaniem. Składają się na niego dwa elementy – RAKn i RAKo (rys. 2).

facilitated by using this method, which requires the access to the wire practically on its entire length. The measuring apparatus consists of two parts:

- system of measurement of resistance along with the transmitter, sending information about detected changes of resistance, which will be placed at the beginning of the analysed section (stationary part);
- portable receiver, obtaining information about changes of resistance. A person that is locating the damage will be using the receiver.

To be able to use this method, it is necessary to apply the high-speed gauge of resistance. The impact on the amplitude of changes of the insulation resistance has the power of impact and the distance of places of conducting the test from the place of damage of the cable. On the tenderness of device has an effect: level of the electromagnetic interference in the place of tests and value of resistance of damage, which is strongly non-linear and depends from the value of measuring tension. The advantage of this method is a possibility of applying the small measuring power, what enables keeping the sparkproof of the system. The selection of the measuring electricity was a result of a compromise between the requirements of the safety and the maximum tenderness of the system, especially in case of applying the device for the segments of cable above 100m.

According to assumptions of the project, the prototype of the set of devices, along with the due software, was made. Its constituted by two elements – RAKn i RAKo (pic. 2).



Rys. 2. Widok aparatury pomiarowej: a) nadajnik RAKn; b) odbiornik RAKo [3]
Fig. 2. Presentation of the measuring apparatus a) RAKn transmitter b) RAKo receiver [3]

RAKn jest urządzeniem pomiarowym w wykonaniu iskrobezpiecznym przeznaczonym do pomiaru rezystancji uszkodzenia, do zastosowań w diagnostyce kabli i przewodów elektrycznych średniego i niskiego napięcia zainstalowanych w przestrzeniach zagrożenia wybuchem. W urządzeniu wbudowany jest również obwód nadajnika radiowego, którego anteną jest płaszcz badanego kabla, pracującego w dolnym zakresie zakresie fal długich. Nadajnik służy

RAKn is a measuring device in the sparkproof workmanship, intended for the measurement of resistance of the damage, for applications in diagnostics of cables and wires, of the average and low voltage, installed in spaces with the risk of explosion. In the device, one has installed also circuit of the radio transmitter, which aerial is a sheath of the inspected cable, working in the lower scope of long waves. The transmitter is used to notify person who is locating

do powiadamiania za pośrednictwem urządzenia odbiorczego RAKo osoby lokalizującej uszkodzenie o zaistniałej zmianie rezystancji na skutek oddziaływania mechanicznego na kabel. Urządzenie to może być stosowane w podziemnych zakładach górniczych w polach niemetanowych i metanowych zaliczonych do stopnia „b” i „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu oraz klasy A i B niebezpieczeństwa wybuchu pyłu węglowego. RAKn realizuje następujące zadania:

- pomiar wartości rezystancji izolacji i nadawanie sygnałów radiowych,
- współpraca z urządzeniem RAKo,
- sygnalizacja akustyczna zmiany wartości rezystancji,
- pomiar temperatury wewnątrz urządzenia i jego wyświetlanie,
- pomiar napięcia na wyjściu iskrobezpiecznego źródła zasilania,
- realizacja (poprzez płaszcz badanego kabla) transmisji informacji o zmianach rezystancji mierzonej.

RAKo jest przenośnym urządzeniem do odbioru sygnałów z modulacją AM z dolnego zakresu fal długich. Dostrojony jest do częstotliwości nośnej, który to sygnał podłącza się do ekranu odłączonego od zasilania kabla lub przewodu elektrycznego. Obudowa przeznaczona jest do przypięcia do pasa lub przewieszenia przez ramię tak, aby nie blokować rąk operatora. Antena do lokalizacji wstępnej posiada 2-metrowy przewód przyłączeniowy.

Urządzenia RAKo i RAKn tworzą system nadawczo-odbiorczy i są zamontowane w obudowie wykonanej z tworzywa sztucznego, dopuszczonego do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Obudowa posiada stopień ochrony przed dostępem do części czynnych, wnikaniem obcych ciał stałych i wnikaniem wody, który jest określony na IP54. Urządzenie posiada sygnalizator akustyczny i siedmiosegmentowy wyświetlacz diodowy do sygnalizacji optycznej poziomu napięcia sygnału fali nośnej generowanej w urządzeniu RAKn. Dwuprzyciskowa klawiatura służy do załączania zasilania i do zmiany trybu pracy. Urządzenie realizuje następujące zadania:

- współpraca z urządzeniem RAKn,
- sygnalizacja akustyczna zmiany wartości rezystancji,
- pomiar wartości amplitudy dobieranego sygnału i jego prezentacja na wyświetlaczu,
- pomiar temperatury wewnątrz urządzenia i jego wyświetlanie,
- pomiar napięcia na wyjściu iskrobezpiecznego źródła zasilania.

Parametry urządzenia przedstawiono w tabeli 1.

the damage about the existing change as a result of the mechanical influence on the cable via RAKo receiving device. This device can be applied in underground mines, in non-methane and methane areas, recognised as the ones of rank "b" and "c" of a danger of the explosion of methane as well as the ones of class A, B of a danger of the explosion of coal dust. RAKn is realising the following tasks:

- measurement of the value of the insulation resistance and sending radio signals,
- interaction with the RAKo device,
- acoustic signalling of the change of the value of resistance,
- measurement of temperature inside the device and displaying it,
- measurement of voltage on the output of the sparkproof power source,
- realisation (through the sheath of the inspected cable) of transmission of information about the changes of the measured resistance.

RAKo is a portable device for the reception of signals with the AM modulation from the lower scope of long waves. It is tuned up to the carrier frequency, and this signal is connected to the screen disconnected from powering of the cable or wire. The casing is intended to pin it to the belt or to throw over one's arm in order not to block hands of the operator. The aerial to the preliminary location has a 2-metre patchcable.

RAKo and RAKn devices are creating the transmitting-receiving system and are installed in the casing made of plastics, allowed for applying in the spaces with the risk of explosion. The casing has a protection degree against the access to active parts, penetrating of solid foreign bodies and pouring of water, which is described on IP54. The device has an acoustic indicator and a seven-section diode display to the visual signalling of the voltage level of the carrier wave, generated in the RAKn device. Two-button keyboard is used for attaching the power supply and changing the mode. The device is realising the following tasks:

- interaction with the RAKn device,
- acoustic signalling of the change of the value of resistance,
- measurement of the value of the amplitude of the selected signal and its presentation on the display,
- measurement of temperature inside the device and displaying it,
- measurement of voltage on the output of the sparkproof power source.

Parameters of the device were presented in table 1.

Tabela 1.

Parametry techniczne urządzenia [3]

Charakterystyka wykonania	I M2 Ex ib I
Warunki środowiskowe	
Temperatura otoczenia podczas pracy	0÷40°C
Temperatura otoczenia podczas przechowywania	-20°C ... +60°C
Wilgotność względna bez kondensacji	< 95% w temp. 40°C
Narażenie na zanieczyszczenia	2 zgodnie z IEC 61010-1
Stopień ochrony obudowy	IP54
Klasa środowiska przemysłowego	B
Stopień zanieczyszczenia	2
Wymiary	160 mm × 160 mm × 90 mm
Masa urządzenia	ok. 2 kg
Napięcie zasilania	12 V (akumulator ZZI-12E)
Pobór mocy	< 0,72 W
Czas pracy przy naładowanym akumulatorze	< 10 godzin
Rozdzielczość pomiarowa temperatury	1°C
Automatyczne wyłączenie zasilania	11 V (11,5 V na akumulatorze)

Table 1.

Technical parameters of the device [3]

Characteristics of the workmanship	I M2 Ex ib I
Environmental conditions	
Environmental temperature during the work	0÷40°C
Environmental temperature while storing	-20°C ... +60°C
Relative non-condensing humidity	< 95% in temp. 40°C
Exposing to pollutants	2 according to IEC 61010-1
Degree of the protection of the casing	IP54
Class of the industrial environment	B
Degree of the pollution	2
Dimensions	160 mm × 160 mm × 90 mm
Mass of the device	about 2 kg
Supply voltage	12 V (ZZI-12E battery)
Power consumption	< 0,72 W
Working hours with the charged battery	< 10 hours
Measuring resolution of the temperature	1°C
Automatic power-off	11 V (11,5 V on battery)

Model lokalizatora został poddany wszechstronnym badaniom, obejmującym badania kompatybilności elektromagnetycznej, badania klimatyczne oraz ocenę zgodności z wymaganiami Dyrektywy ATEX.

Badania aparatury przeprowadzone w warunkach ruchowych, charakterystycznych dla zakładów górniczych, dowiodły jej przydatności, jednocześnie jednak wykazały, że uzyskanie pełnej wiedzy na temat optymalnego sposobu użytkowania aparatury będzie możliwe dopiero po pewnym okresie jej eksploatacji przez służby elektryczne kopalń w warunkach ruchowych. Wynika to z ograniczonego dostępu, w warunkach naturalnych, do uszkodzonych w wyniku

The model of the locator was subjected to comprehensive examinations, including the research on the electromagnetic compatibility, climatic examinations and the assessment of conformity with requirements of the ATEX Directive.

Inspections of apparatus, conducted in motor conditions, characteristic of mining units, proved its the usefulness, however, simultaneously they have showed, that obtaining the full knowledge about an optimal manner of using apparatus would be possible only after the certain period of its use by mining electric services in motor conditions. It results from the poor access, in natural conditions, to the damaged, as

rzeczywistej eksploatacji kabli i przewodów różnych typów, różnorodności występujących w praktyce uszkodzeń, niemożliwych do zaobserwowania w trakcie badań laboratoryjnych oraz różnic w sposobie prowadzenia kabli i przewodów, co wymusza różne sposoby wykonywania udarów mechanicznych. Przeprowadzone badania, poza wnioskami dotyczącymi działania aparatury (konieczność reprogramowania czy też zmian sprzętowych), wykazały, że z punktu widzenia efektywności badań lokalizacyjnych istotne są również m.in. sposób ułożenia badanego kabla (przewodu) oraz siła oddziaływania mechanicznego (ударów) na kabel. Lepsze efekty lokalizacji uzyskano, kiedy badany odcinek zawieszony jest pomiędzy kolejnymi punktami podparcia – odpowiada to najczęstszemu sposobowi prowadzenia kabli, tzn. na zawieszach (uchwytych) kablowych. Ułożenie odcinka bezpośrednio na ziemi (spągu) powoduje mniejsze odkształcenia mechaniczne izolacji pod wpływem udarów oraz odbicie kabla od podłoża, co zniekształca przebieg zmian mierzonej rezystancji.

4. WDROŻENIE W STACJACH TRANSFORMATOROWYCH

Opracowane rozwiązanie aparatury pomiarowej do identyfikacji i lokalizacji miejsca uszkodzenia zostało wykonane w formie zestawu przenośnego. Na podstawie informacji uzyskanych od potencjalnych użytkowników aparatury zaczęto rozważać również możliwość zabudowania części aparatury (układu pomiarowego RAKn) w urządzeniu zasilającym odbiory w sieciach np. nn. W związku z tym, iż jednym z członków konsorcjum była firma Martech-Plus, wspólnie podjęto prace mające na celu przygotowanie opcjonalnej wersji wykonania, dającej nową możliwość zastosowania aparatury pomiarowej.

Firma Martech-Plus jest jedną z najnowocześniejszych firm w branży elektroenergetycznej w Polsce. Dwoma głównymi obszarami jej działalności są produkcja i remonty ognioszczelnych stacji transformatorowych dla przemysłu górniczego oraz produkcja i sprzedaż systemów oświetleniowych. Ognioszczelne stacje transformatorowe przeznaczone do zasilania maszyn i urządzeń elektrycznych pracujących w podziemiach kopalń stanowią kompletne zespoły składające się z transformatora i aparatury łączeniowej oraz zabezpieczającej.

Do przetestowania wyniku projektu wybrano układ elektryczny stacji transformatorowej MAR-G (rys. 3).

a result of the real use, cables and wires of different type, diversities of damage appearing in practice, impossible to observe in the course of laboratory tests and differences in the way of leading cables and wires, what is imposing different ways of performing the mechanical impacts. Conducted examinations, apart from conclusions concerning action of apparatus (need for reprogramming or also equipment changes), has showed, that from the point of view of the effectiveness of location examinations, a way of arranging the inspected cable (wire) was also significant as well as the mechanical poignancy (impacts) on the cable. Better effects of the location were obtained, when the examined section is hanged between the particular fulcrum - it corresponds to the most frequent way of leading cables i.e. on cable suspensions (handles). Putting the segment directly on the ground (floor) causes smaller mechanical deformations of the isolation under the influence of impacts and rebound of the cable from basis, what is distorting the course of changes of the measured resistance.

4. IMPLEMENTATION IN TRANSFORMER STATIONS

The developed solution of the measuring equipment to the identification and location of the place of damage was executed in the form of portable set. Based on information obtained from the potential users of apparatus, one has started to consider also the possibility of developing part of apparatus (RAKn measurement system) in the device powering receptions in webs e.g. nn. According to the fact, that one of the consortium members was Martech-Plus company, they have started the cooperative works aimed at preparing the optional version of workmanship, giving the new opportunity of the application of measuring apparatus.

Martech-Plus company is one of the most modern companies in the electrical power engineering industry in Poland. Production and repairs of flameproof transformer stations for mining industry are two principal areas of activity of the company, as well as the production and sale of lighting systems. Flameproof transformer stations, intended to power machines and electrical devices working in the underground of mines, constitute complete units, consisting of the transformer and joining and protective apparatus.

As the place of application to tests of the project result, one has chosen an electric arrangement of the MAR-G transformer station (pic. 3).



Rys. 3. Widok stacji transformatorowej typu MAR-G [3]
Fig. 3. Presentation of the transformer station of the MAR-G type [3]

Stacja ta wyposażona jest po stronie DN w styczniki próżniowe z dobezpieczeniami oraz mikroprocesorowe zabezpieczenie typu PM-2. Przekaznik PM-2 łączy w sobie następujące funkcje kontrolno-pomiarowe:

- przekaznika nadmiarowo-prądowego zawierającego człon przeciążeniowy, człon zwarciovowy oraz człon asymetryczny,
- przekaznika upływowego centralno-blokującego dla sieci prądu przemiennego o napięciu do 1140 V,
- przekaznika sterowniczego,
- przekaznika kontroli ciągłości uziemienia,
- sterowania sygnalizacją ostrzegawczą,
- sterowania lokalnego i zdalnego elementu wykonawczego,
- sterowania stycznika głównego i styczników pomocniczych za pomocą przekazników wykonawczych, wyświetlania na wyświetlaczu LCD informacji o stanie pracy i stanach awaryjnych oraz przekazywania ich do zewnętrznych systemów monitorujących.

Rozszerzenie własności funkcjonalnych przekaznika PM-2 o opcje lokalizacji uszkodzeń wydaje się być rozwiązaniem oczekiwanym przez potencjalnych użytkowników, podnoszącym dodatkowo poziom bezpieczeństwa pracy podczas ewentualnych czynności związanych z lokalizacją uszkodzeń. Zakłada się, że nadajnik zostanie zabudowany w komorze DN i będzie współpracował z zabezpieczeniami ziemnozwarciowymi niskiego napięcia. W przypadku zaistnienia stanu awaryjnego związanego z uszkodzeniem izolacji doziemnej informacja taka będzie widoczna dla użytkownika, natomiast aparatura pomiarowa (jej część) zidentyfikuje, czy jest możliwe zlokalizowanie miejsca uszkodzenia. Część przenośna będzie w dyspozycji odpowiednich służb elektrycznych.

On the side of DN, this station is equipped with vacuum contractors with protection and microprocessor protection of PM-2 type. PM-2 transmitter is combining the following test-measuring functions:

- excess-power transmitter containing: overload element, short-circuit element and asymmetrical element,
- central-blocking leakage transmitter for the network of the alternating current about the voltage of 1140 V,
- steering transmitter,
- transmitter of control of the continuity of earthing,
- control of warning signalling,
- control of the local and remote actuator.
- control of the main contractor and support contractors with the implementation transmitters, displaying information about the state of work and emergency states on the liquid crystal display and sending them to the outside monitoring systems.

The extension of functional properties of PM-2 transmitter for the options of locating the damage, seems to be a solution expected by the potential users, additionally raising the level of the job security during the possible works associated with the location of the damage. It is supposed, that the transmitter will find the DN developed in the chamber and will be cooperating with earth-short-circuit protection of the low voltage. In case of becoming known of the emergency state, associated with the damage of ground insulation, such its part) will identify whether it is possible to locate the place of the damage. The portable part will be in disposition of the competent electric services.

5. PODSUMOWANIE

Przedstawione rozwiązanie jest nowym opracowaniem, niespotykanym dotychczas w zastosowaniach praktycznych. Pozwala ono na zastąpienie niebezpiecznych prac związanych z wykorzystaniem dużych energii do dopalania miejsca uszkodzenia lub wytwarzaniem łuku elektrycznego dla zwiększenia dokładności metod falowych i stanowi alternatywę dla obecnie stosowanych urządzeń. Podstawowym kryterium przyjętym przy opracowywaniu było BEZPIECZEŃSTWO. Nie jest to rozwiązanie uniwersalne, lecz przeznaczone dla określonej grupy kabli i przewodów oponowych.

W prezentowanej koncepcji, dotyczącej lokalizacji uszkodzeń w kablach i przewodach oponowych, należy podkreślić, że z uwagi na przyjęte przy realizacji projektu nowatorskie podejście do zagadnienia lokalizacji oraz brak wcześniejszych doświadczeń ze stosowania podobnej aparatury pełna ocena właściwości użytkowych aparatury oraz ustalenie optymalnego sposobu jej efektywnego wykorzystania możliwe będą dopiero po pewnym czasie jej eksploatacji w warunkach ruchowych, przy różnych uszkodzeniach, dla różnych typów kabli i przewodów oponowych. Szczególną rolę w tym procesie odgrywać powinni przede wszystkim użytkownicy aparatury, których opinie i uwagi dotyczące jej działania będą uwzględnione przez producenta. Dlatego też podjęto równoległe działania związane z wdrożeniem aparatury w układ elektryczny urządzeń zasilających.

Uczestniczący w pracach nad niniejszym projektem są przekonani, że opracowana metoda pomiarowa będzie rozwijana i doprowadzi w najbliższych latach do budowy grupy urządzeń zapewniających bezpieczną i efektywną lokalizację uszkodzeń w kablach i przewodach elektroenergetycznych w wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego.

Literatura

1. Aihua D., Liang L., Liuhang H., Qingxuan W.: *Research on the practical detection for a power cable fault point*, 2010 International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering.
2. Conroy G.J.: *Bureau of Mines Research on Trailing-Cable-Fault Locators* [online], Washington D.C., UNT Digital Library, dostępny w Internecie: <http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc38728/> (dostęp: 26. 06. 2014).
3. Dokumentacja: *Opracowanie rozwiązań wraz z aparaturą pomiarową umożliwiającą przeprowadzenie pomiarów oraz diagnozowanie kabli i przewodów elektroenergetycznych w wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego*. Praca pod kier. A. Kozłowskiego, Instytut Technik Innowacyjnych EMAG, Katowice 2014, niepublikowana.

5. SUMMARY

The presented solution is a new study, not met so far in practical applications. It allows for replacing the dangerous works with the use of great energies for burning the place of damage or generating the electric arc for increasing the accuracy of wave methods and it constitutes the alternative to the presently applied devices. The basic criterion adopted at compiling it was SAFETY. This is not the universal solution (among other because this solution is in the explosion-proof workmanship – sparkproof), but it is dedicated for the specific group of cables and rubber sheathed mining cables.

In the presented solution, concerning the location of damage in cables and rubber sheathed mining cables, one should underline, that due to the innovative approach to the issue of the location, accepted at the project implementation, and the lack of the previous experiences from applying similar apparatus, the full assessment of functional properties of apparatus and establishing an optimal manner of its effective application are possible only after the certain period of time of its use in motor conditions, at different damage for different types of cables and rubber sheathed mining cables. The particular role, above all, should play the users of apparatus, whose opinions and remarks concerning its operation will be considered by the producer. Therefore, one has collaterally taken issues connected with the implementation of apparatus into the electric system of powering devices.

People participating at works on this project have a belief, that the developed measuring method will be expanded and will lead in the nearest years to the construction of the group of devices providing the safe and effective localization of the damage in cables and electrical power engineering wires in the mine workings with the risk of explosion of methane and/or coal dust.

References

1. Aihua D., Liang L., Liuhang H., Qingxuan W.: *Research on the practical detection for a power cable fault point*. 2010 International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering.
2. Conroy G.J.: *Bureau of Mines Research on Trailing-Cable-Fault Locators*. [Washington D.C.]. UNT Digital Library. <http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc38728/>. (dostęp 26 czerwca 2014).
3. Dokumentacja: *Opracowanie rozwiązań wraz z aparaturą pomiarową umożliwiającą przeprowadzenie pomiarów oraz diagnozowanie kabli i przewodów elektroenergetycznych w wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego*. Praca pod kier. A. Kozłowskiego, Instytut Technik Innowacyjnych EMAG, Katowice 2014, niepublikowana.

4. Dubaniewicz T.H. Jr.: *From Scotia to Brookwood, fatal US underground coal mine explosions ignited in intake air courses* [online], dostępny w Internecie: <http://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/fstbf.pdf> (dostęp: 26. 06. 2014).
 5. *IEEE Guide for Fault-Locating Techniques on Shielded Power Cable Systems*, IEEE Std 1234-2007.
 6. *Report of investigation – Underground mine – Fatal electrical accident – November 4, 2005* [online], United States Department of Labor Mine Safety and Health Administration, dostępny w Internecie: <http://www.msha.gov/FATALS/2005/FTL05c16.asp> (dostęp: 26. 06. 2014).
 7. Szczerski R.: *Lokalizacja uszkodzeń w sieciach elektroenergetycznych*, WNT, Warszawa 1990.
4. Dubaniewicz T.H., Jr.: *From Scotia to Brookwood, fatal US underground coal mine explosions ignited in intake air courses*. <http://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/fstbf.pdf>. (dostęp 26 czerwca 2014).
 5. *IEEE Guide for Fault-Locating Techniques on Shielded Power Cable Systems*, IEEE Std 1234-2007.
 6. *Report of investigation – Underground mine – Fatal electrical accident – November 4, 2005* [online], United States Department of Labor Mine Safety and Health Administration, dostępny w Internecie: <http://www.msha.gov/FATALS/2005/FTL05c16.asp> (dostęp: 26. 06. 2014).
 7. Szczerski R.: *Lokalizacja uszkodzeń w sieciach elektroenergetycznych*, WNT, Warszawa 1990.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.

The article was reviewed by two independent reviewers.

АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ КАБЕЛЬНО-ПРОВОДНИКОВОЙ ПРОДУКЦИИ В РЕЗИНОВЫХ ТРУБКАХ ДЛЯ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПОТЕНЦИАЛЬНО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ

Статья описывает проблематику технического задания по разработке решений и измерительной аппаратуры, позволяющих производить измерения и диагностику силовой кабельно-проводниковой продукции в выработках с потенциальной угрозой взрыва метана и/или угольной пыли. Представлен способ реализации проекта научно-промышленным консорциумом, а также в качестве результата проекта описание разработанных аппаратов РАКо и РАКп, составляющих приемопередающую установку. Также была реферирована возможность встраивания аппаратуры в агрегат нагрузочного питания низковольтных сетей в электрической цепи трансформаторной подстанции типа MAR-G.