

inż. ROMAN GIEL  
dr inż. TOMASZ JACKIEWICZ  
Carbonex Sp. z o.o.  
dr inż. GRZEGORZ WIŚNIEWSKI  
Instytut Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej

## Iskrobezpieczny system łączności szybowej

*Dotychczasowe systemy i urządzenia przeznaczone do łączności lub sygnalizacji w górniczych wyciągach szybowych były projektowane i pracowały w oparciu o schemat, w którym w naczyniu szybowym znajdowało się urządzenie budowy przeciwybuchowej, przeznaczone dla obsługi wyciągu, a na powierzchni umieszczano urządzenie budowy normalnej dla maszynisty. Schemat ten zawsze zakładał umiejscowienie stanowiska maszynisty na powierzchni i poza strefą niebezpieczeństwa wybuchu. W przypadku umiejscowienia maszyny wyciągowej pod ziemią pojawił się problem zapewnienia łączności załozce przy pomocy urządzeń, które w całości miały nadawać się do eksploatacji w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem metanu lub pyłu węglowego. W artykule przedstawiono nowe rozwiązania w zakresie urządzeń do łączności i sygnalizacji w szybach wyciągowych realizujących powyższe zadania.*

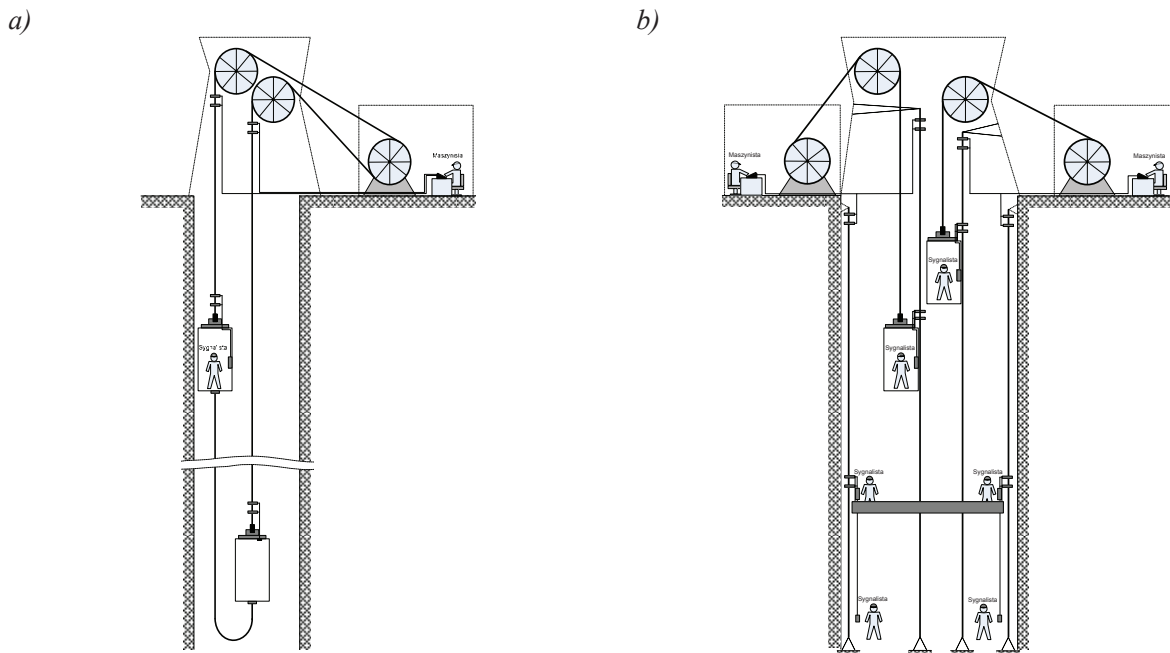
### 1. WPROWADZENIE

---

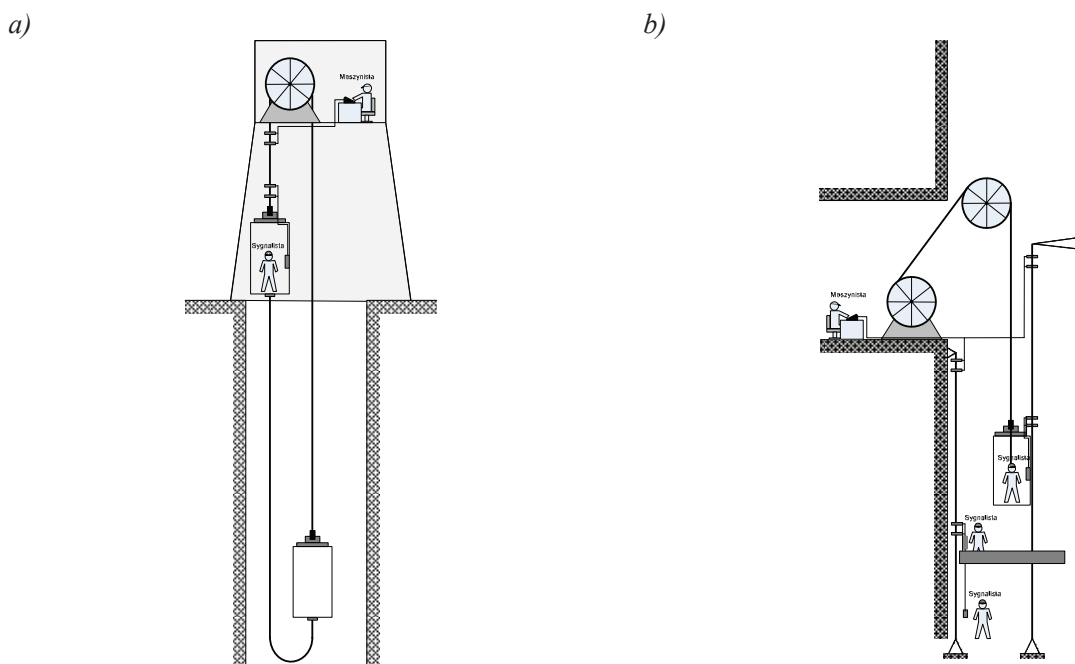
System łączności szybowej ECHO, wywodzący się z połączenia własności funkcjonalnych telefonu szybowego TS oraz urządzenia sygnalizacyjnego HERMES, jest szeroko rozpowszechnionym urządzeniem w głębinowych zakładach wydobywczych, przeznaczonym do prowadzenia łączności i sygnalizacji w szybach [1]. Na rysunku 1. przedstawiona została idea działania urządzenia, które wykorzystuje liny jako nośnik do propagacji fal elektromagnetycznych. Nośnik w tym przypadku tworzą: lina nośna, lina wyrównawcza, naczynia szybowe, a także – w niektórych przypadkach – koła prowadnicze lub napędowe. Fala elektromagnetyczna jest generowana i odbierana z nośnika za pomocą sprzęgaczy indukcyjnych. Z uwagi na różnorodność rozwiązań konstrukcji szybów istnieje wiele wariantów przedstawionego schematu, np. wykorzystujący liny prowadnicze lub jedynie liny nośne (w przypadku napędu wielolinowego) [2]. System wykorzystywany jest zarówno w zakładach

wydobywczych, jak i w dopiero powstających szybach głębinowych. Jednak w dotychczas stosowanych rozwiązaniach zawsze przyjmowano założenie, że stanowisko sterowania maszynisty wyciągowego znajduje się poza strefą niebezpieczeństwa wybuchu metanu lub pyłu węglowego. Dlatego też system jest tak zaprojektowany, że tylko jego część poruszająca się w szybie jest w wykonaniu przeciwybuchowym, natomiast część przeznaczona do obsługi przez maszynistę wyciągowego jest budowy normalnej.

Pojawiająca się konieczność dotarcia do głębiej położonych pokładów węgla spowodowała potrzebę pogłębiania już istniejących szybów. Głębień to nie odbywa się jednak zawsze z powierzchni. Fakt ten stał się powodem opracowania nowego systemu łączności szybowej, który byłby zdolny do pracy w strefach zagrożonych wybuchem. Ideę takiego systemu przedstawiono na rysunku 2. – w zależności od potrzeb może on być instalowany na poziomie wydobywczym bądź w szybiku lub też na powierzchni, w pomieszczeniu zagrożonym wybuchem.



Rys. 1. Widok rozmieszczenia elementów systemu klasycznego w szybach: a) wydobywczym, b) głębinym (opracowanie własne)



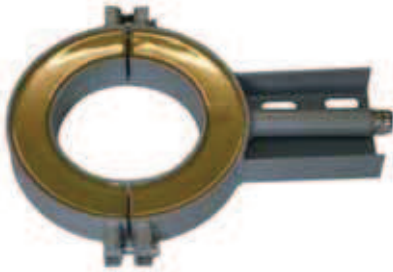
Rys. 2. Widok rozmieszczenia elementów systemu iskrobezpiecznego w szybach: a) wydobywczym, b) głębinym (opracowanie własne)

## 2. NOWE ROZWIĄZANIA URZĄDZEŃ ŁĄCZNOŚCI W WYKONANIU ISKROBEZPIECZNYM

Przystępując do prac projektowych, przyjęto założenie, że zmiany dotyczyć będą jedynie elementów systemu niespełniających wymogów pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. To spowodowało

konieczność opracowania iskrobezpiecznej wersji aparatu stacyjnego i urządzeń z nim związanych, współpracującej z istniejącymi aparatami klatkowymi. Założenie takie miało na celu zminimalizowanie prawdopodobieństwa wprowadzenia błędów rzutujących na bezpieczeństwo pracy załogi. Podjęto również starania, aby zwiększyć wymiary geometryczne sprzęgaczy indukcyjnych w związku z pojawiającymi się niedogodnościami eksploatacyjnymi. Jeden z do-

tychczas produkowanych sprzęgaczy przedstawiono na rysunku 3. Składa się on z dwuczęściowego, toroidalnego rdzenia ferromagnetycznego, na którym nawinięte jest uzwojenie.

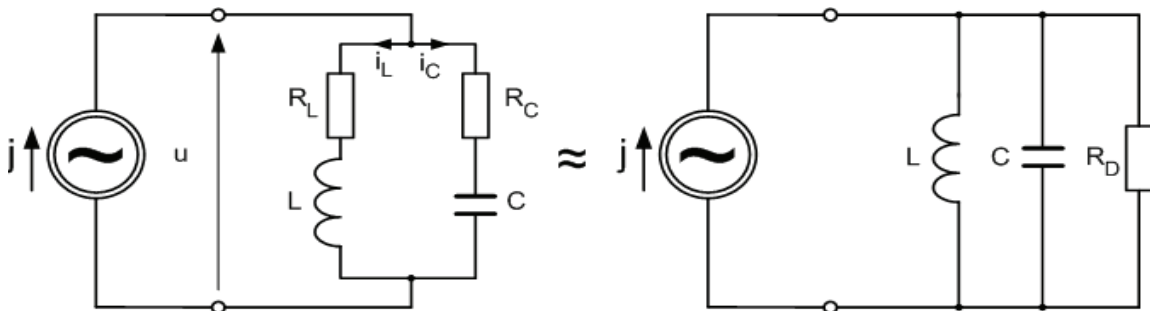


Rys. 3. Widok sprzęgacza typu SS-80  
(opracowanie własne)

W połączeniu z obwodem znajdującym się w aparacie stacyjnym pod względem elektrycznym tworzy on równoległy obwód rezonansowy, którego ideę wraz ze schematem zastępczym przedstawiono na rysunku 4. Obwód tworzony jest przez źródło prądowe oraz kondensator i indukcyjność, których straty reprezentowane są poprzez opory  $R_L$  i  $R_C$ .

Układ dopasowywany jest w taki sposób, aby pracował w warunkach rezonansu. W tym stanie dwugąłówny obwód jest reprezentowany przez rezystancję dynamiczną, której wartość w przybliżeniu można opisać następującą zależnością:

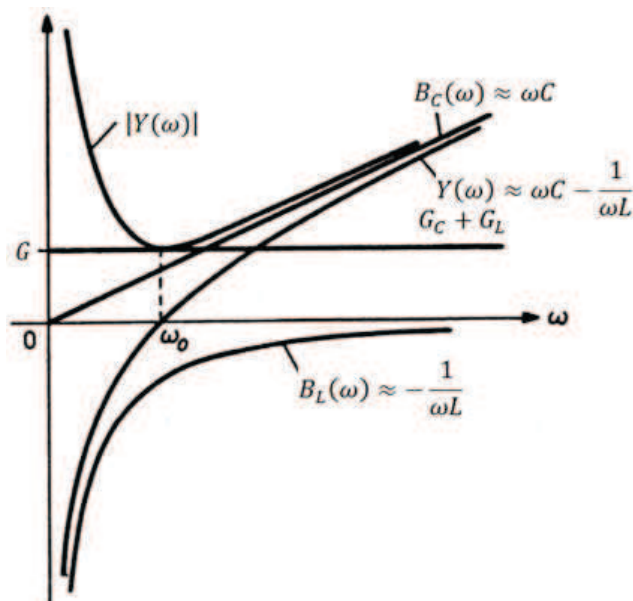
$$R_D \approx \frac{L}{(R_L + R_C)C} \quad (1)$$



Rys. 4. Obwód rezonansowy sprzęgacza i jego schemat zastępczy  
(opracowanie własne)

Na rysunku 5. przedstawiono wykres admityncji  $Y$  takiego obwodu wraz w wykresami susceptancji indukcyjnej  $B_L$  i pojemnościowej  $B_C$  oraz konduktan-

cji  $G$ , w funkcji pulsacji. Impedancja obwodu poniżej pulsacji rezonansowej ma charakter indukcyjny, a powyżej – pojemnościowy.



Rys. 5. Wykresy admityncji  $Y$ , konduktancji  $G$  oraz susceptancji  $B$  obwodu rezonansowego sprzęgacza  
(opracowanie własne)

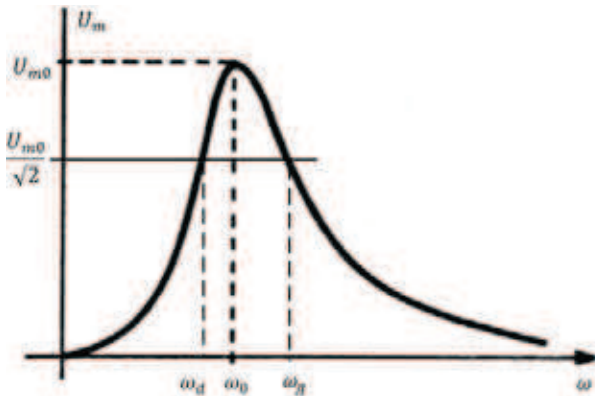
Admitancja obwodu opisana jest zależnością:

$$Y(\omega) = G(\omega) + jB(\omega) = \frac{R_L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} + \frac{R_C}{R_C^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} + j \left[ \frac{-\omega L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} + \frac{\frac{1}{\omega C}}{R_C^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} \right] = |Y| e^{j\varphi_Y} \quad (2)$$

a moduł admitancji obwodu wynosi:

$$|Y| = \sqrt{\left( \frac{R_L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} + \frac{1}{R_C^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} \right)^2 + \left( \frac{-\omega L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} + \frac{\frac{1}{\omega C}}{R_C^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} \right)^2} \quad (3)$$

Pasma użyteczne sprzęgacza zawiera się pomiędzy pulsacją  $\omega_d$  a  $\omega_g$ , wyznaczoną poziomem napięcia mniejszym od maksymalnego dla pulsacji rezonansowej  $\omega_0$  o około 30%, co przedstawiono na rysunku 6.



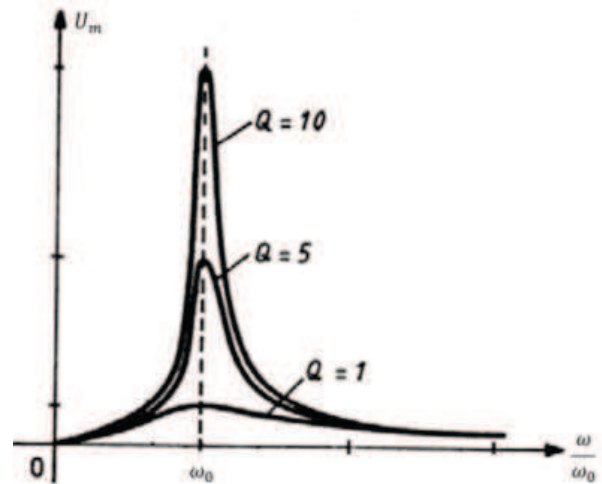
Rys. 6. Krzywa rezonansowa obwodu sprzęgacza (opracowanie własne)

Częstotliwość w warunkach rezonansu, przy założeniu, że  $R_L = R_C \neq \sqrt{\frac{L}{C}}$ , wynosi:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

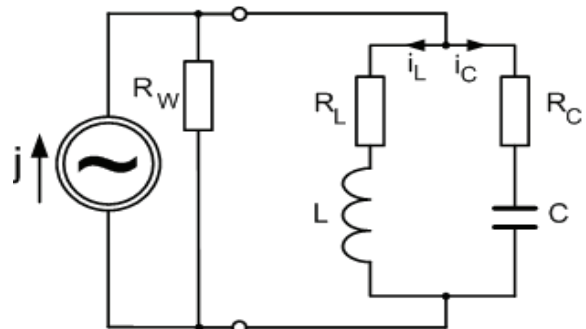
Zatem „jakość” sprzęgacza, mierzona poprzez zasięg pracy urządzenia, zależy głównie od jego dobroci. Z uwagi na założenie poczynione wcześniej, nakazujące współpracę z urządzeniami już eksploatowanymi, nie była możliwa zmiana parametrów ani pulsacji, ani indukcyjności, co pokazano na rysunku 7. Dobroć takiego układu zależy zarówno od właściwości cewki, jak i całej pojemności układu, co można zapisać w następujący sposób:

$$Q = \frac{Q_{L0} Q_{C0}}{Q_{L0} + Q_{C0}} \quad (5)$$



Rys. 7. Krzywe rezonansowe obwodu sprzęgacza o różnych dobrociach (opracowanie własne)

Dodatkowo w procesie projektowania należało uwzględnić fakt, że urządzenie nie jest pobudzone z idealnego źródła prądowego. Należało zatem uwzględnić oporność wewnętrzną  $R_w$  źródła, co zostało pokazane na rysunku 8. Dobroć w takim układzie jest opisana zależnością (6) i – jak widać – negatywnie wpływa na jego wartość, zatem oprócz właściwego doboru konstrukcji sprzęgacza należało również skupić się na obwodzie wyjściowym urządzenia.



Rys. 8. Obwód rezonansowy sprzęgacza przy uwzględnieniu rezystancji wewnętrznej źródła  $R_w$  (opracowanie własne)

$$Q' = \frac{Q}{1 + \frac{R_D}{R_W}} \quad (6)$$

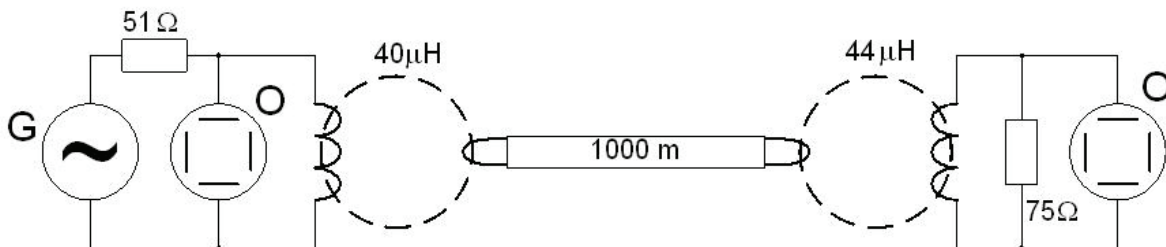
W wyniku przeprowadzonych prac badawczych opracowano sprzęgacz spełniający zadane kryteria. Został on pokazany na rysunku 9.

W następnym kroku przeprowadzono pomiary laboratoryjne tłumienia sprzęgacza w funkcji częstotliwości, przy użyciu kabla o długości 1000 m, w odniesieniu do sprzęgacza obecnie stosowanego, co przedstawiono na rysunku 10.

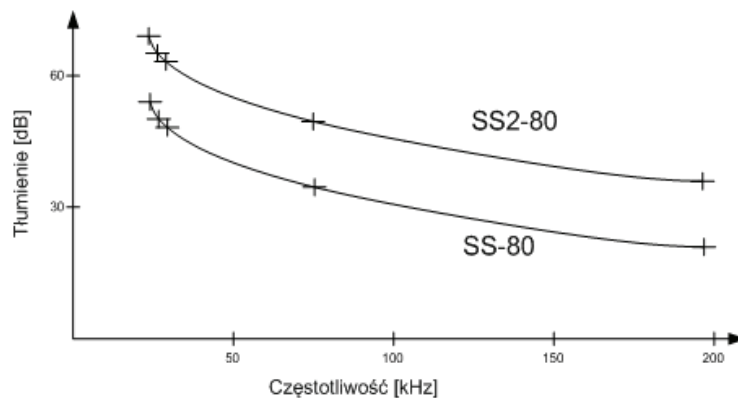
Wyznaczone charakterystyki tłumienia, przedstawione na rysunku 11., pokazały, że wzrost wymiarów geometrycznych sprzęgacza oraz sposób jego budowy, tj. zastosowany typ rdzenia oraz kształt sprzęgacza, spowodowały zwiększenie tłumienia sygnału o około 30%. Zmiana ta jednak nie dyskredytowała urządzenia do zastosowania go w systemie z powodu odpowiedniego nadmiaru mocy sygnału. Podjęte dalsze prace nad obwodem wyjściowym nadajnika aparatu stacyjnego spowodowały zmniejszenie tłumienia do około 15%.



Rys. 9. Widok sprzęgacza typu SS2-80 (opracowanie własne)



Rys. 10. Schemat laboratoryjnego układu pomiarowego z kablem o długości 1000 m (opracowanie własne)



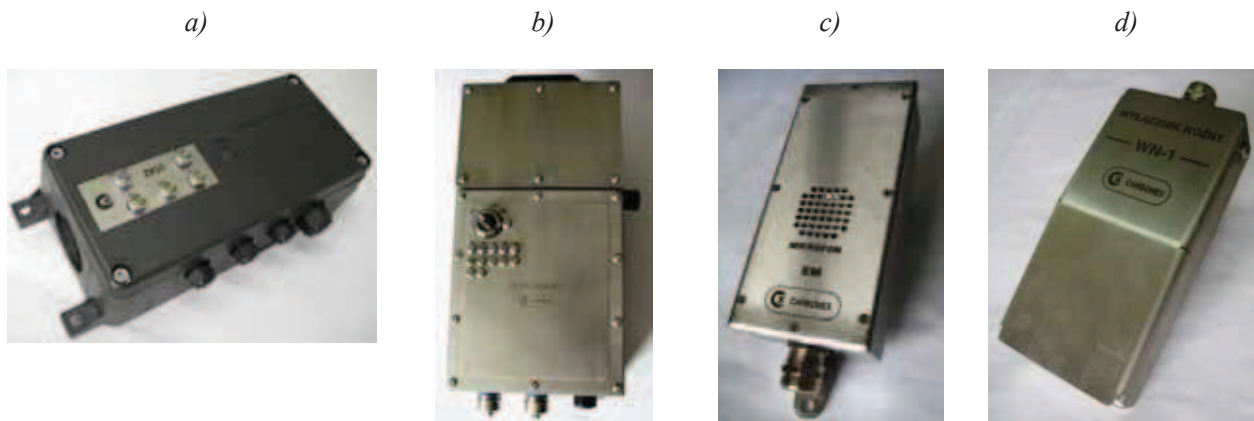
Rys. 11. Zależność tłumienia sygnału od częstotliwości, zmierzona dla sprzęgaczy SS-80 i SS2-80 (opracowanie własne)



### 3. REALIZACJA PRAKTYCZNA

W wyniku prowadzonych prac rozwojowych powstało kilka urządzeń w wykonaniu iskrobezpiecznym, które w połączeniu z dotychczas eksploata-

nymi aparatami klatkowymi ECHO/AK-xx tworzą iskrobezpieczny system łączności szybowej. Urządzeniami tymi są: zespół kontroli impulsów ZKI/i (rys. 12a), aparat stacyjny ECHO/ASi-xx (rys. 12b), mikrofon EM (rys. 12c) oraz wyłącznik nożny WN-1 (rys. 12d).



Rys. 12. Widok elementów systemu łączności szybowej (opracowanie własne)

System jest przeznaczony do prowadzenia dwustronnej łączności fonicznej i przesyłania sygnałów w szybach głębionych lub wydobywczych pomiędzy załogą znajdującą się w ruchomym naczyniu a maszynistą wyciągowym. Umożliwia on także przesyłanie sygnałów sterujących do maszyny wyciągowej (jednoderzeniowych, alarmu, przylegania kubła do sań przewodniczych) oraz sygnałów zwrotnych do ruchomego naczynia (potwierdzenia fonicznego sygnałów jednoderzeniowych, potwierdzenia fonicznego sygnału alarmu, potwierdzenia załączonej blokady). Dla innych przypadków wykorzystania ilość sygnałów jest dostosowywana do potrzeb konkretnej realizacji, co czyni system bardziej elastycznym i użytecznym.

System może być montowany w szybach, w których liny stanowią zamkniętą elektrycznie pętlę, co jest warunkiem prawidłowego działania. Warunek ten nie dotyczy wykonania częstotliwościowego (D), w którym to wariancie urządzenie może pracować w wyciągach jednokońcowych. Zespół stacyjny systemu zasilany jest z zasilacza iskrobezpiecznego, a zespół klatkowy – z baterii, ale też posiada możliwość dołączania dodatkowej zewnętrznej baterii zasilającej, co ułatwia szybszą obsługę bieżącą.

szybowej. Może on być eksploatowany zarówno z poziomu wydobywczego, jak i z powierzchni, w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem metanu lub/i pyłu węglowego.

Sprzęgacze systemu łączności szybowej pracują w układzie równoległego obwodu rezonansowego. Zwiększanie wymiarów geometrycznych sprzęgaczy spowodowało zmniejszenie dobroci układu o około 30%, co jednak nie pogorszyło znacząco własności funkcjonalnych systemu.

#### Literatura

1. Giel R., Jackiewicz T., Wiśniewski G.: *Łączność w szybach głębionych*. „Mechanizacja i Automatyza Górnictwa”, 2011, nr 7 (485).
2. Giel R., Jackiewicz T.: *Propagacja fal elektromagnetycznych w górniczych wyciągach szybowych*. „Mechanizacja i Automatyza Górnictwa”, 2010, nr 7 (473).
3. Utikal J.: *Sygnalizacje i napędy w górniczych wyciągach szybowych*, Wydawnictwo Górnicze, Katowice 2007.
4. Utikal J.: *Systemy telekomunikacyjne w górnictwie*, ZG SITG, Katowice 1998.
5. Osiowski J., Szabatin J.: *Podstawy teorii obwodów*, WNT, Warszawa 1998.
6. Bolkowski S.: *Teoria obwodów elektrycznych*, WNT, Warszawa 1995.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.

### 4. PODSUMOWANIE

Konieczność eksploatacji głęboko położonych pokładów węgla spowodowała potrzebę opracowania całkowicie iskrobezpiecznego systemu łączności