

## Inteligentna, górnicza sieć energetyczna M-SmartGRID

mgr inż. Marcin Jura  
dr inż. Joanna Rogala-Rojek  
dr inż. Dariusz Jasiulek  
dr inż. Sebastian Jendrysik  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

### Streszczenie:

Ciągłość dostaw energii elektrycznej jest podstawowym czynnikiem warunkującym prowadzenie działalności w zakładach górniczych i jest podstawą bezpieczeństwa pracy ludzi oraz ochrony środków produkcji. Przerwy w dostawach energii stwarzają zagrożenie dla takich procesów jak: przewietrzanie wyrobisk podziemnych, transport załogi z i na powierzchnię kopalni. Instalacje elektryczne są często bardzo złożone i przesyłają dużą ilość energii, zwłaszcza, gdy szczytowe wartości mocy obciążenia są kilka razy wyższe niż jego średnia moc. Stąd istotne jest zarządzanie kopalnianą siecią elektroenergetyczną i jej monitorowanie oraz prognozowanie obciążeń i wspomaganie podejmowania decyzji w różnych warunkach funkcjonowania sieci. W niniejszym artykule przedstawiono oprogramowanie opracowane w ITG KOMAG.

Słowa kluczowe: górnictwo, sieć ergoelektryczna, oprogramowanie

Keywords: mining industry, electrical network, software

### Abstract:

Reliability of energy supply is essential for operation of mining plants. Lack of supply poses a risks to such processes as: ventilation of workings, personnel transportation from and to the mine surface, and is fundamental for personnel safety and protection of means of production. Electrical installations are often very complex, they distribute large amount of power, especially when the peak power is a few times greater than the average power consumption. That is why it is essential to manage the mining power grid and its monitoring as well as forecasting the loads and assisting in making decisions at different conditions of the grid operation. Software developed by KOMAG is presented.

## 1. Wprowadzenie

Ciągłe dostarczanie energii elektrycznej do zakładów górniczych jest podstawową czynnością ich funkcjonowania. Jest ona wymagana ze względu na zapewnienie bezpieczeństwa pracy ludzi i ochrony środków produkcji. W przypadku przerw w dostawie energii procesy takie jak: przewietrzanie wyrobisk podziemnych, transport załogi z i na powierzchnię kopalni mogą stanowić poważne zagrożenia bezpieczeństwa.

Instalacje elektryczne stosowane w strukturach górniczych (często bardzo złożone) przesyłają dużą ilość energii, zwłaszcza, gdy szczytowe wartości mocy obciążenia są kilka razy wyższe niż średnia moc obciążenia. Dzięki planowaniu zużycia energii możliwe jest rozłożenie zapotrzebowania na energię w czasie. Planowanie możliwe jest jednak tylko wtedy gdy zużycie energii jest monitorowane i osoby decyzyjne mają rzetelne informacje związane ze zużyciem energii. Planowanie pozwala na zmniejszenie obciążeń sieci oraz elastyczność w dopasowaniu się do taryf sprzedaży energii elektrycznej.

Wobec pojawiających się zagrożeń zarówno w zakresie deficytu pierwotnych zasobów energii jak i zbyt niskiej efektywności jej wytwarzania, przesyłu, rozdziału i użytkowania narasta przekonanie o potrzebie wprowadzenia nowej jakości do sieci elektroenergetycznych, w tym stworzenia inteligentnych systemów dostawy energii znanych powszechnie jako „smart grid”. Takie działania są rozwijane przez jednostki naukowe [13] i prowadzone są na

skalę regionalną i krajową [14]. Można zauważyć, że zainteresowanie tego typu systemami wykazują także duże przedsiębiorstwa z wielu gałęzi przemysłu, również z górnictwa.

W kopalniach węgla kamiennego, podstawowe maszyny są wyposażone w urządzenia pozwalające na monitorowanie zużycia energii. Przykładem może być system rozproszony KOGASTER opracowany w ITG KOMAG [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 17] stosowany w układach sterowania maszyn. Jego funkcjonalność, związana z komunikacją bezprzewodową [15, 16], monitoringiem i diagnostyką [8] umożliwia pomiar natężenia prądu pobieranego przez napędy maszyn.

W latach 2013-2016 ITG KOMAG uczestniczył w projekcie M-SmartGRID, współfinansowanym przez Europejski Fundusz Węgla i Stali (RFCs). Głównym celem projektu było opracowanie inteligentnych komponentów kopalnianych sieci energetycznych. Zadaniem ITG KOMAG w projekcie M-SmartGRID [12] było opracowanie oprogramowania, które pozwoliłoby na integrację komponentów systemu, jego obsługę oraz przeprowadzanie symulacji działania, oraz pełniło funkcję szkoleniową, związaną z obsługą sieci.

## 2. Kopalniany układ elektroenergetyczny

W zakładach przemysłowych znaczenie mają odbiorniki energii elektrycznej, gdyż ich poprawna praca decyduje o efektach gospodarczych i bezpieczeństwie. Kopalnie są szczególnie wymagającymi i wrażliwymi odbiorcami energii elektrycznej. Decydują o tym, przede wszystkim, względy bezpieczeństwa, związane z zapewnieniem właściwego przewietrzania wyrobisk podziemnych i transportu załogi na powierzchnię kopalni, w przypadku wystąpienia zagrożeń. Problem ciągłości pracy głównych wentylatorów jest szczególnie istotny w przypadku kopalń silnie metanowych. Zaburzenia w ruchu kopalni mogą być groźniejsze, jeżeli jednocześnie przerwane zostanie zasilanie urządzeń stacji odmetanowania, ponieważ przyspiesza to dodatkowo wystąpienie niebezpiecznych stężeń metanu w wyrobiskach eksploatacyjnych. Dla kopalń groźna jest również możliwość nagłego i nadmiernego dopływu wody.

Najczęściej kopalnie zasilane są dwiema niezależnymi liniami napowietrznymi. W przypadku spełnienia stosownych przepisów [18] za niezależne źródło zasilania energią może być uznana również elektrownia przemysłowa, znajdująca się na terenie kopalni. Podobnie aby linie napowietrzne i linie kablowe, mogły być uważane za elementy dwóch niezależnych źródeł zasilania, muszą spełniać odpowiednie warunki.

Odbiorniki energii elektrycznej dzieli się zwykle na trzy kategorie, w zależności od skutków jakie powoduje przerwa w zasilaniu [10]:

- I kategoria - to odbiorniki, których przerwa w zasilaniu może wywołać zagrożenie życia ludzi albo znaczne straty gospodarcze (wentylatory głównego przewietrzania, maszyny wyciągowe niezbędne do wyjazdu załogi, stacje odmetanowania, pompy głównego odwadniania, systemy łączności i bezpieczeństwa),
- II kategoria - to odbiorniki, których przerwa w zasilaniu powoduje przestoje urządzeń produkcji podstawowej, a w związku z tym znaczne straty produkcyjne (skipowe maszyny wyciągowe wydobywcze, sprężarki, odbiorniki w zakładach przeróbczych, odbiorniki w łaźniach i lampowniach),
- III kategoria - to odbiorniki pozostałe (niezaliczone do I i II kategorii).

Kopalnie muszą posiadać co najmniej dwa niezależne źródła zasilania energią elektryczną, jedno zasilanie powinno pokryć pełne zapotrzebowanie mocy kopalni, drugie zasilanie powinno zapewnić minimalne zapotrzebowanie na moc, gwarantujące bezpieczeństwo ludzi, mienia i środowiska.

Obiekty podstawowe zakładu górniczego, które powinny posiadać dwa niezależne źródła zasilania w energię elektryczną to [18]:

- górnicze wyciągi szybowe w szybach i szybikach,
- stacje wentylatorów głównych,
- stacje odmetanowania,
- wewnętrzne instalacje i sieci elektroenergetyczne wysokiego i średniego napięcia, zasilające podstawowe obiekty i urządzenia na powierzchni,
- centrale i dyspozytornie wraz z systemami łączności, bezpieczeństwa i alarmowania,
- główne stacje sprężarek,
- urządzenia i układy głównego odwadniania wraz z rozdzielniami zasilającymi.

### 3. Oprogramowanie systemu M-SmartGRID

Projekt M-SmartGRID miał na celu opracowanie i wdrożenie nowego inteligentnego systemu obsługi kopalnianej sieci energetycznych, skupiającego istniejące komponenty oraz te nowe utworzone w ramach projektu. System zarządzania siecią energetyczną kopalni M-SmartGRID zapewnia prognozowanie obciążeń, monitorowanie powierzchniowej i dołowej sieci elektroenergetycznej oraz wspomaganie podejmowania decyzji w różnych warunkach funkcjonowania sieci. Głównym zadaniem ITG KOMAG w projekcie było opracowanie oprogramowania. Oprogramowanie zostało podzielone na systemy:

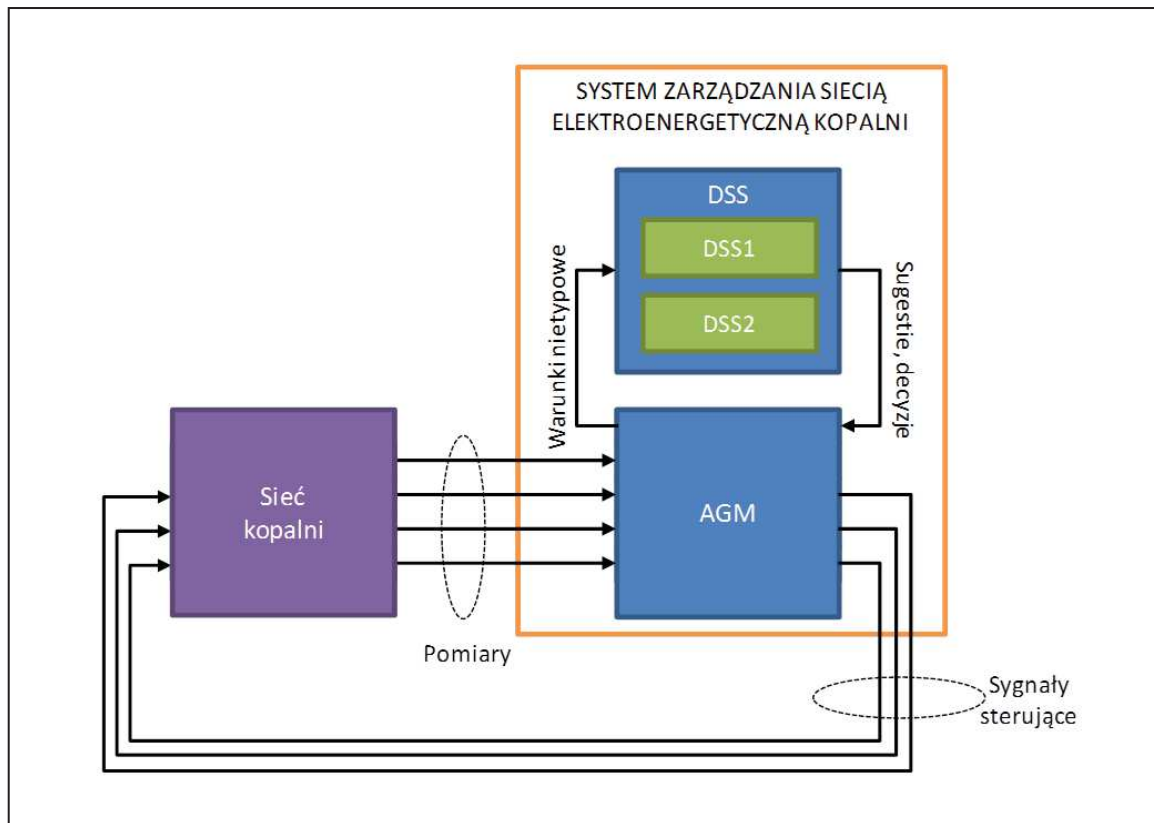
AGM - automatyczne zarządzanie siecią elektryczną,

DSS 1 - zarządzanie siecią w niestandardowych warunkach,

DSS 2 - zarządzanie siecią w sytuacjach niebezpiecznych,

które połączono w jeden nadrzędny system zarządzający siecią elektryczną kopalni. Strukturę systemu przedstawiono na rysunku 1.

„Pomiary” to wartości obciążeń sieci w wyznaczonych punktach rozdzielni, „Sygnały sterujące” to informacje o sposobach rozptywu energii w sieci. W sytuacjach niestandardowych i awaryjnych moduł AGM wymienia informacje poprzez podmoduł ekspertowy z modułem DSS. Moduł DSS1 związany jest z sytuacjami niestandardowymi, natomiast moduł DSS2 z sytuacjami awaryjnymi.



Rys. 1. Struktura systemu zarządzania siecią elektroenergetyczną kopalni [opracowanie własne]

Oprogramowanie opracowano przy wykorzystaniu środowiska programistycznego RAD Studio XE5. Przyjęto, że oprogramowanie powinno posiadać przejrzysty interfejs użytkownika, umożliwiający intuicyjną obsługę oraz powinno umożliwiać efektywne przetwarzanie dużych zbiorów danych za pomocą określonych algorytmów i poleceń SQL.

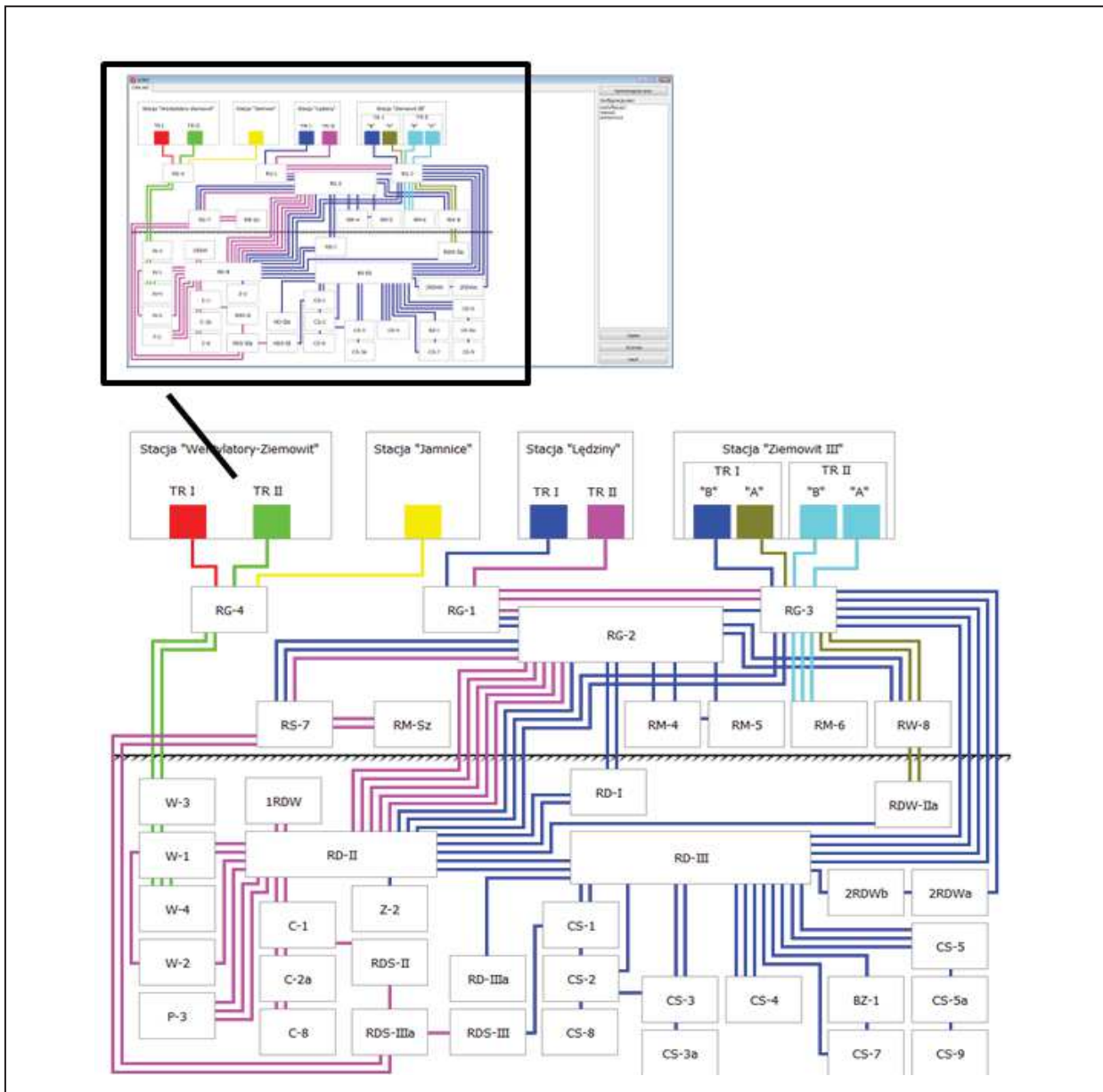
System zarządzania siecią energetyczną kopalni pobiera informacje ze sterowników oraz mierników zainstalowanych w rozdzielniach zarówno powierzchniowych jak i dołowych. Komunikacja odbywa się z wykorzystaniem protokołu Modbus, z możliwością rozszerzenia bazy obsługiwanych protokołów.

Moduł zarządzania siecią energetyczną kopalni stanowi najważniejszy element opracowywanego systemu i swoją funkcjonalnością obejmuje m.in.:

- wizualizację sieci,
- identyfikację stanu sieci,
- prognozowanie zużycia energii,
- wspomaganie podejmowania decyzji operatora,
- obsługę danych.

W ramach realizacji projektu przeprowadzono prace związane z opracowaniem interfejsu głównego oraz interfejsami okien pomocniczych, do prezentacji szczegółowych danych rozdzielni oraz umożliwiających analizę przebiegów czasowych. W celu jak najlepszego dopasowania systemu do potrzeb przyszłych użytkowników opracowano kilka wariantów graficznych, które skonsultowano z przedstawicielami kopalni. Główne okno programu

przedstawia schemat sieci elektroenergetycznej kopalni KWK „ZIEMOWIT” (rys. 2). W zależności od wykorzystanego źródła zasilania, poszczególne części sieci oznaczono różnymi kolorami w celu rozpoznania jej aktualnej konfiguracji.

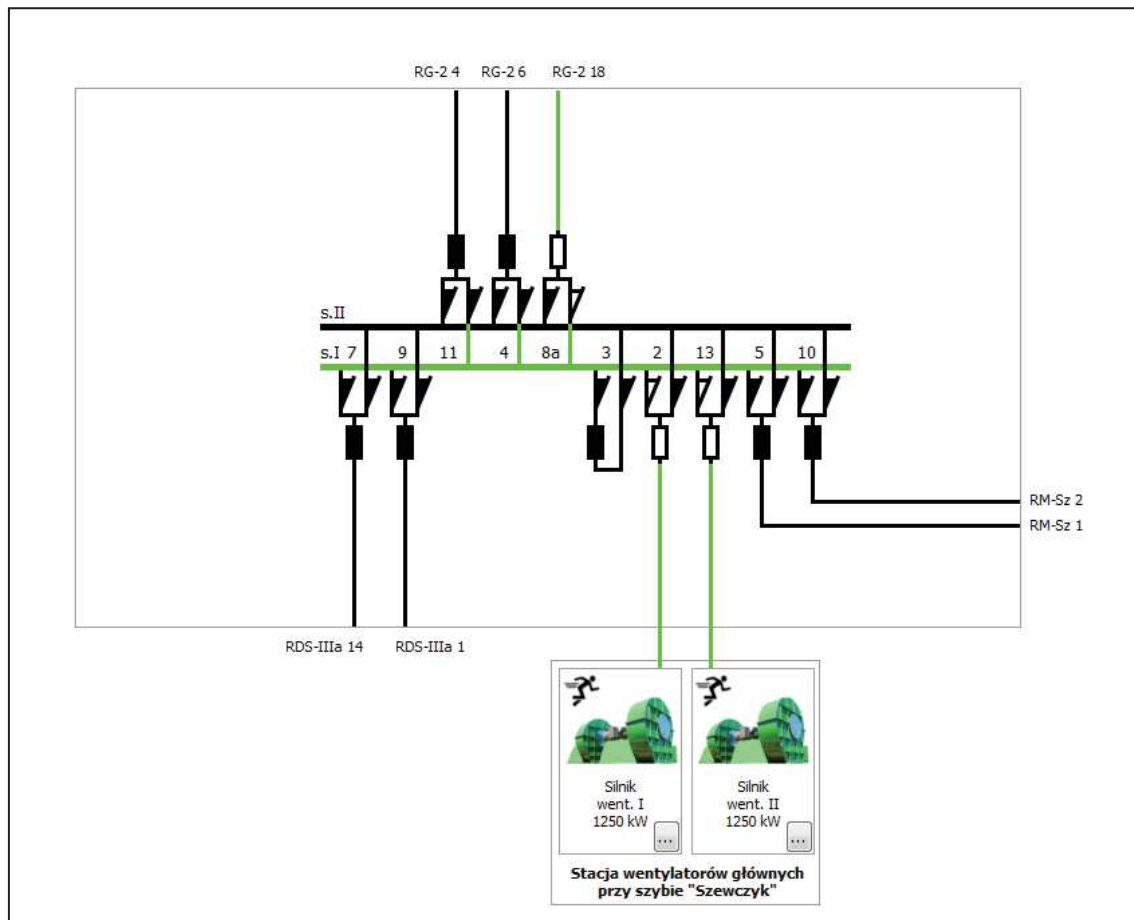


Rys. 2. Okno główne programu – schemat szczegółowy sieci energetycznej kopalni KWK „Ziemowit”  
[opracowanie własne]

Oprogramowanie wykonane w ITG KOMAG przygotowano do podłączenia do systemu monitorującego obciążenie sieci elektroenergetycznej, a następnie aplikację przetestowano przy pomocy sterownika PLC symulującego komponenty sprzętowe systemu.

Zmiana konfiguracji sieci odbywa się poprzez zmianę stanu wyłączników mocy i odłączników w rozdzielniach elektrycznych. Wybranie określonej rozdzielni powoduje otwarcie zakładki z aktualnym schematem jej połączeń (rys. 3). Zmiana stanu konfiguracji sieci dokonywana jest poprzez wybranie wyłącznika mocy lub odłącznika. Jeżeli aplikacja

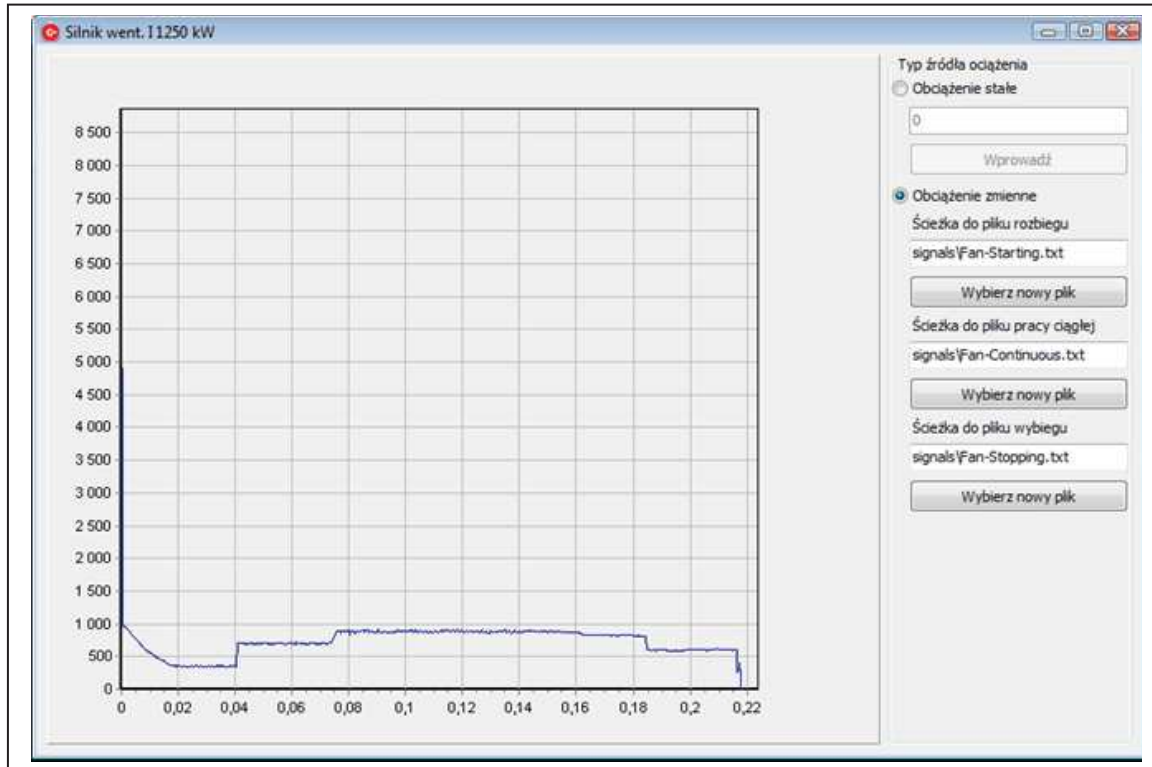
otrzyma potwierdzenie wykonania przełączenia, zmienia się automatycznie kolor połączeń, zgodnie z nową konfiguracją (kolory odpowiadają źródłu zasilania w danym miejscu sieci).



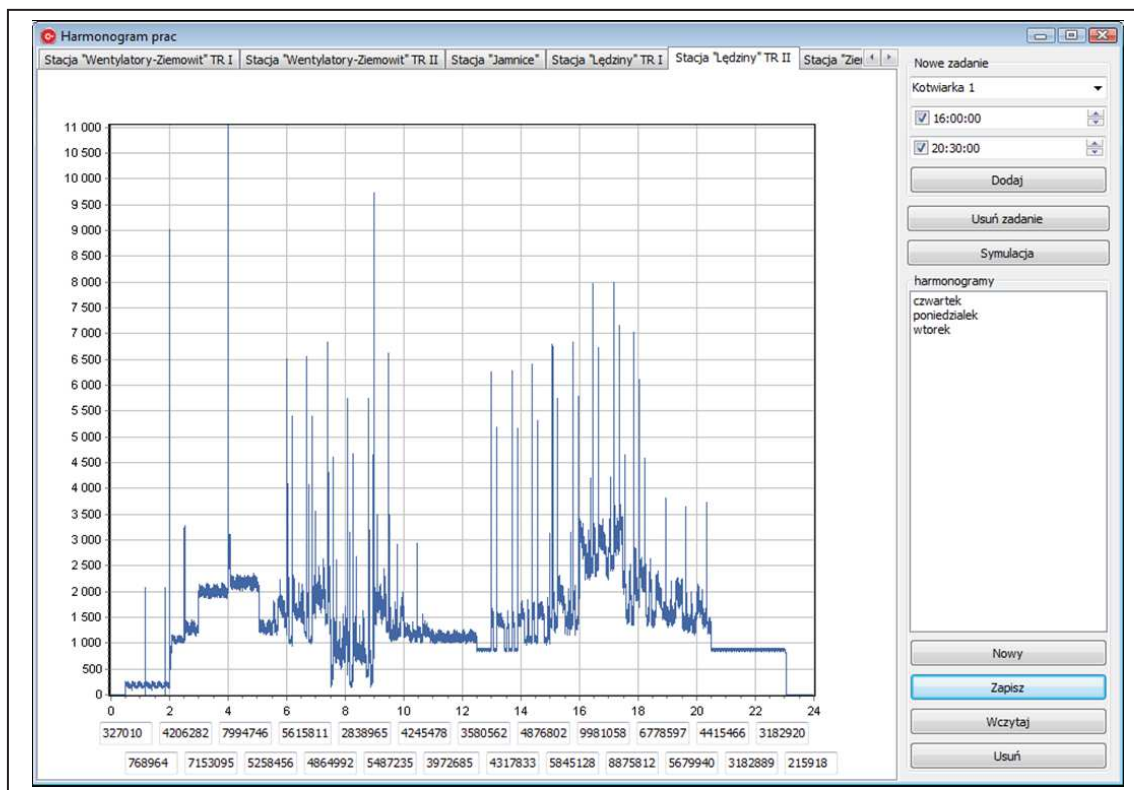
Rys. 3. Interfejs użytkownika z wybraną zakładką przedstawiającą rozdzielnię RS-7 z odbiornikami końcowymi w KWK „Ziemowit” [opracowanie własne]

Na rysunku 3 przedstawiono rozdzielnię, do której podłączone są końcowe odbiorniki energii. Przebieg czasowy obciążenia danego odbiornika można podejrzeć poprzez naciśnięcie na przycisk „...” obok symbolu odbiornika. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy wykres pozyskany na „KWK Ziemowit” prezentujący pobór mocy wentylatora w czasie. Parametry pracy urządzenia wczytano z pliku zawierającego symulowane obciążenie. Możliwe jest także pokazanie przebiegu w odniesieniu do transformatora, na który składają się wszystkie obciążenia (natężenie prądu) urządzeń do niego podpiętych.

Aplikacja również umożliwia wygenerowanie wykresów mocy w czasie z dnia wybranego przez użytkownika lub określonej symulacji (rys. 5) (system automatycznie wyciąga godzinową średnią i maksymalną wartość obciążenia).



Rys. 4. Okno wprowadzania obciążeń wykorzystywanych do symulacji [opracowanie własne]



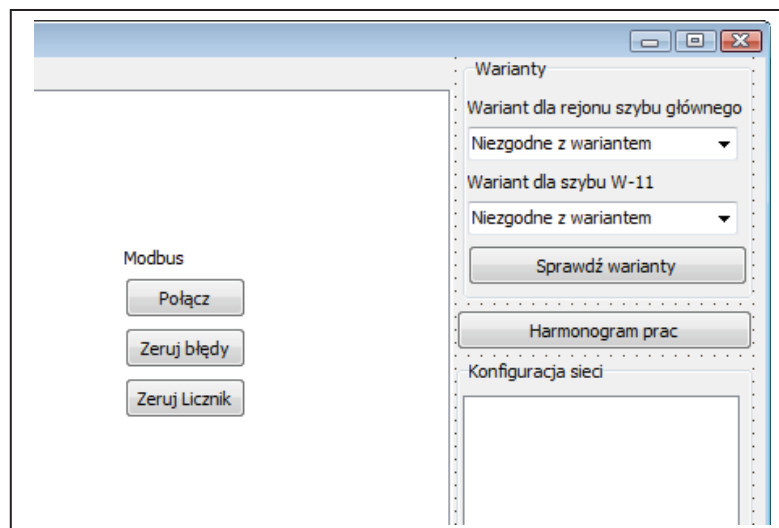
Rys. 5. Okno poglądu wykresów obciążeń transformatorów [opracowanie własne]

System zarządzania siecią elektroenergetyczną kopalni może również wspomagać podejmowanie decyzji operatora. Ma to szczególne znaczenie podczas występowania awarii lub planowanych przełączeń. Operator ma możliwość sprawdzenia wszystkich alternatywnych sposobów doprowadzenia zasilania do konkretnej rozdzielni, co pozwala to na zasilenie urządzeń znajdującym się za uszkodzonym lub remontowanym połączeniem. Proces doboru sposobu połączeń wspomagany jest przez interfejs użytkownika przedstawiający sieć energetyczną, a kolory przypisane transformatorom pozwalają na intuicyjną zmianę połączeń między rozdzielniami i doprowadzenia zasilania z innego źródła.

Dla kolejno prezentowanych transformatorów, na podstawie danych o połączeniu sieci i harmonogramu prac, system automatycznie wylicza czy nie zostanie przekroczona graniczna wartość średniej i maksymalnej mocy w poszczególnych gałęziach systemu.

W aplikacji zaimplementowano także warianty przełączeń sieci, które umożliwiają zmianę jej konfiguracji w sytuacjach awaryjnych. Warianty przygotowano w formie gotowych schematów połączeń. Program przełączeń dodatkowo jest dostępny w programie w formie listy kontrolnej. Możliwe jest także automatyczne wykonywanie poleceń z listy kontrolnej w połączeniu z wizualizacją działań na schemacie sieci energetycznej.

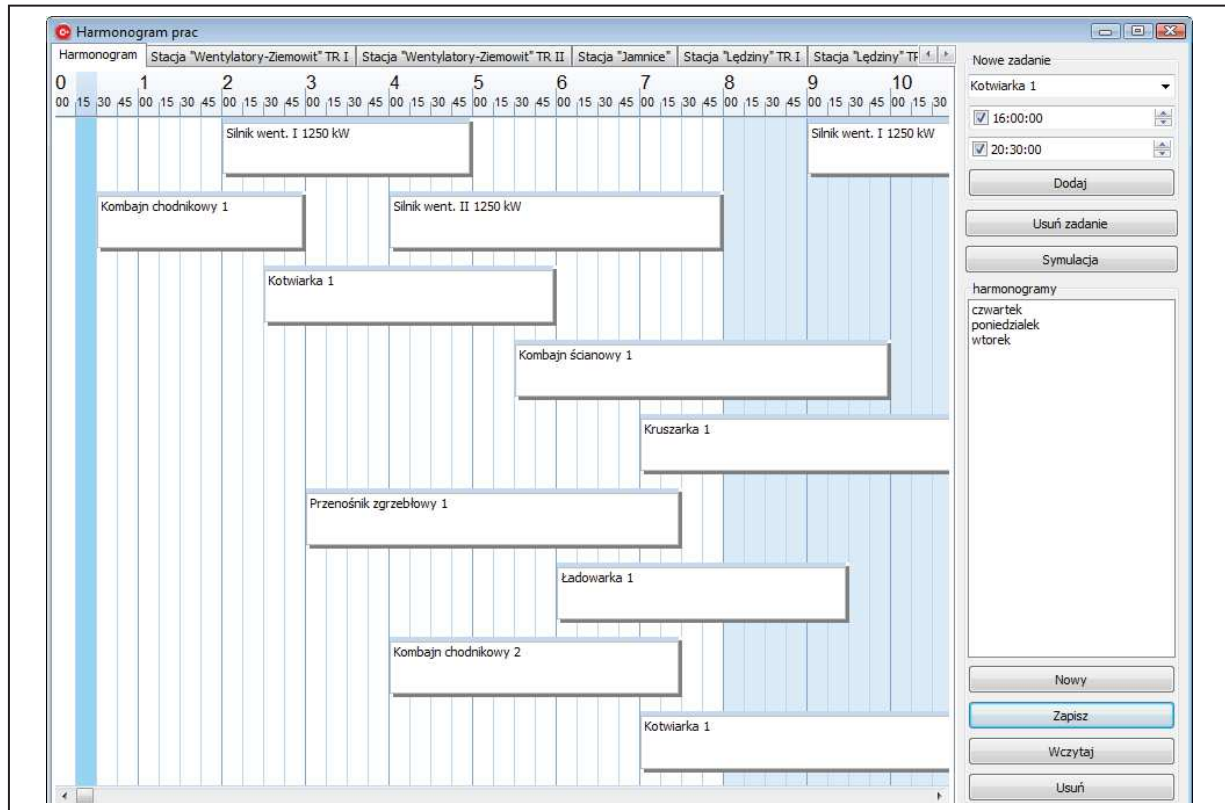
W prawym górnym rogu głównego okna aplikacji (rys. 6) przedstawiane są warianty aktualnie używane w sieci. Przedstawiają one sposób podłączenia transformatorów do głównych rozdzielni. W przypadku, gdy połączenia rozdzielni nie odpowiadają żadnemu z wariantów, wyświetlana jest informacja o braku przynależności danej konfiguracji do wariantów. Rozwijane listy podają nie tylko aktualne warianty, ale także pozwalają na szybką ich zmianę. Opcja ta pozwala, w razie awarii transformatorów, na szybką zmianę połączeń wewnątrz sieci energoelektrycznej.



Rys. 6. Fragment okna z wyborem wariantów i opcjami testowania połączenia ze sterownikiem  
[opracowanie własne]

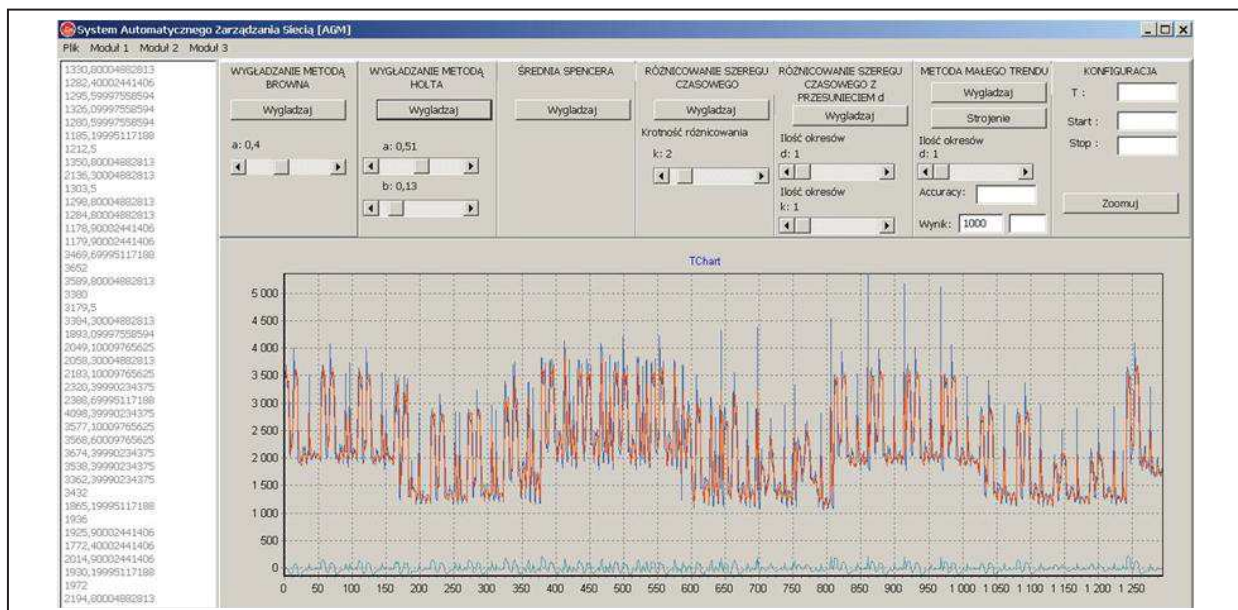
Kolejnym elementem systemu jest moduł planowania załączeń i prognozowania obciążenia. Oprogramowanie do prognozowania zużycia energii zrealizowano w oparciu o model sieci energoelektrycznej oraz model obciążeń. Planowanie załączeń odbywa się przy pomocy interfejsu użytkownika, przystosowanego do czasowego planowania zadań (rys. 7).





Rys. 7. Interfejs użytkownika – harmonogram prac [opracowanie własne]

Moduł prognozowania obciążeń jest realizowany w oparciu o predykcję zachowań modeli, zidentyfikowanych na podstawie sygnałów obciążeń. Każdy sygnał z punktu pomiarowego rozdzielni jest modelowany niezależnie. Do modelowania używane są dane historyczne, zarejestrowane podczas pracy urządzeń. Prawidłowe przeprowadzenie prognozowania obciążenia, wymaga wcześniejszego przygotowania sygnałów historycznych. Sygnał jest filtrowany i normalizowany. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe okno aplikacji do obróbki sygnałów.



Rys. 8. Okno aplikacji do obróbki sygnałów [opracowanie własne]

## 4. Podsumowanie

Dokładna analiza sieci elektroenergetycznej kopalni pozwoliła na zaprojektowanie systemu do jej zarządzania w celu zwiększenia bezpieczeństwa pracy w zakładach górniczych i zapewnienia oszczędności finansowych, dzięki możliwości zarządzania poborem energii elektrycznej. Dane pozyskane z kopalni „KWK Ziemowit” wykorzystano do zamodelowania odbiorników i przeprowadzenia symulacji na utworzonym oprogramowaniu. Symulacje potwierdziły prawidłowe działania oprogramowania i gotowość do zastosowania w kopalni.

Interfejs użytkownika oprogramowania zaprojektowano tak by wymagał jak najkrótszego czasu wdrożenia. Efekt ten uzyskano dzięki rozmowom z potencjalnymi użytkownikami i wykorzystaniu pojęć używanych przez nich. Interfejs opracowano tak, by aktualnie wyświetlany jego fragment był czytelny i wygodny w obsłudze.



## Literatura

- [1] Jasiulek D.: Propozycje zastosowania czujników samozasilających się w przemyśle wydobywczym. Przegląd Górniczy 2014, nr 1
- [2] Jasiulek D., Bartoszek S., Jagoda J., Jura J., Krzak Ł.: Możliwości funkcjonalne systemu rozproszonego sterowania KOGASTER. W: Mechanizacja, Automatyzacja i Robotyzacja w Górnictwie. Red. nauk. Krauze K.. Łędziny, Kraków, 2015
- [3] Jasiulek D., Stankiewicz K., Woszczyński M.: Intelligent self-powered sensors in the state-of-the-art control systems of mining machines. Archives of Mining Science Vol 61, No 4 (2016)
- [4] Jasiulek D., Świder J.: Mechatronic systems in mining roadheaders - examples of solutions. Pomiary Automatyka Robotyka 2013 nr 1
- [5] Jendrysik S., Jasiulek D., Stankiewicz K.: System sterowania ścianowym przenośnikiem zgrzeblowym. Maszyny Górnicze 2015, nr 1, s. 29-32
- [6] Jura J., Bartoszek S., Jagoda J., Jasiulek D., Stankiewicz K., Krzak Ł.: Innowacyjny system sterowania KOGASTER. Napędy i Sterowanie 2014, nr 7/8
- [7] Jura J., Bartoszek S., Jagoda J., Jasiulek D., Stankiewicz K., Krzak Ł.: System sterowania KOGASTER – nowe trendy w budowie maszyn górniczych. Maszyny Górnicze 2014, nr 2, s. 43-49
- [8] Kostka M., Krzak Ł., Gawliński A., Jasiulek D., Latos M., Rogala-Rojek J., Stankiewicz K., Bartoszek S., Jendrysik S., Jura J.: Systemy monitoringu, diagnostyki i sterowania maszyn górniczych. Maszyny Górnicze 2015, nr 3, s. 88-96
- [9] Kozieł A., Jasiulek D., Stankiewicz K., Bartoszek S.: Inteligentne systemy mechatroniczne w maszynach górniczych. Napędy i Sterowanie 2012, nr 2. s. 112-116

- [10] Popczyk J.: Elektroenergetyczne układy przesyłowe. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1984
- [11] Rogala-Rojek J.: Systemy informatyczne i narzędzia inżynierskie wspomagające procesy produkcyjne surowców mineralnych. *Maszyny Górnicze* 2016, nr 4 s. 104-115
- [12] Rogala-Rojek J., Jendrysik S., Jura M., Jasiulek D.: Smart system for electric grid management in coal mines. *Studia Informatica* 2017, nr 3 s. 101-114
- [13] Rohjans S., Uslar M., Bleiker R., González J., Specht M., Suding T., Weidelt T.: Survey of smart grid standardization studies and recommendations. *Smart grid communications (SmartGridComm)* 2010, s. 583-588
- [14] Smoleński R.: Conducted electromagnetic interference (EMI) in smart grids. Springer Science & Business Media 2012
- [15] Stankiewicz K.: A method for the self-organization of a sensor network in belt conveyor exploitation. *Problemy Eksploatacji – Maintenance Problems* 2016, nr 3, pp. 145-254
- [16] Stankiewicz K.: Koncepcja środowiska symulacyjnego do oceny samoorganizacji trasowania w sieci sensorycznej. *Maszyny Górnicze* 2015, nr 2, s. 3-8
- [17] Stankiewicz K., Jasiulek D., Jagoda J., Jura J.: Rozproszone systemy sterowania maszyn i urządzeń górniczych. *Maszyny Górnicze* 2016, nr 3, s. 54-66
- [18] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych (Dz.U. 2017 poz. 1116)

*Czy wiesz, że ....*

*...do 2019 roku północne Chiny mają być w 50% ogrzewane czystymi paliwami, a do roku 2021 odsetek ten ma wynieść 70% - wynika z pięcioletniego planu przejścia na czyste ogrzewanie, oparte na energii geotermalnej, biomasie czy gazie ziemnym. Władze zmuszają miliony mieszkańców i tysiące firm do zastąpienia pieców węglowych czystszyimi alternatywami, a lokalne rządy zakazują palenia węglem.*

*Rzeczpospolita 2017 nr z 19 grudnia s.B10*