

## Autonomiczny system monitorowania parametrów pracy baterii ogniw ołowiowych

dr inż. Bartosz Polnik  
mgr inż. Wojciech Kurpiel  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG  
mgr Zdzisław Juszczyk  
PHU Gabrypol Sp. J.

### Streszczenie:

Górnice maszyny zasilane są często z akumulatorów składających się z ogniw kwasowo-ołowiowych. Ogniwa te w czasie ładowania bądź doładowywania wydzielają wodór, który po przekroczeniu określonych stężeń staje się gazem wybuchowym. Zagrożenie to jest znane większości użytkownikom maszyn z zasilaniem akumulatorowym, stąd ich zainteresowanie jego wyeliminowania bądź możliwie największego zminimalizowania.

W artykule przedstawiono wyniki badań stężenia gazu elektrolitycznego – wodoru wewnątrz skrzyni akumulatorowej, w trakcie pracy górniczej lokomotywy akumulatorowej z rekuperacją energii w czasie hamowania elektrycznego, jak również podczas ładowania baterii ogniw w komorze ładowania w kopalni. Zaproponowano rozwiązanie poprawiające bezpieczeństwo eksploatacji maszyn zasilanych z baterii ogniw ołowiowych w postaci autonomicznego systemu monitorowania parametrów baterii ogniw ołowiowych. Omówiono jego budowę oraz zasadę działania. Wskazano zalety jakie będzie mógł uzyskać użytkownik poprzez zastosowanie opracowanego systemu.

Słowa kluczowe: górnictwo, elektrotechnika, zasilanie akumulatorowe, bezpieczeństwo

Keywords: mining, electro technical, battery supply, safety

### Abstract:

Mining machines are often powered by batteries consisting of lead-acid batteries. These cells release hydrogen when they are loaded or recharged, which, after exceeding certain concentrations, becomes explosive gas. This danger is most of the users of machines with battery power known, hence their interest in eliminating it or minimizing it as much as possible.

The paper presents the results of investigations of the concentration of electrolytic gas - hydrogen inside the battery box, during the mining operation of the battery locomotive with energy recuperation during electrical braking as well as during charging the cells in the charging chamber in the mine. A solution has been proposed to improve the operational safety of lead-powered batteries in the form of an autonomous system for monitoring lead battery batteries. It discusses its construction and principle of operation. The benefits of using the developed system can be identified by the user.

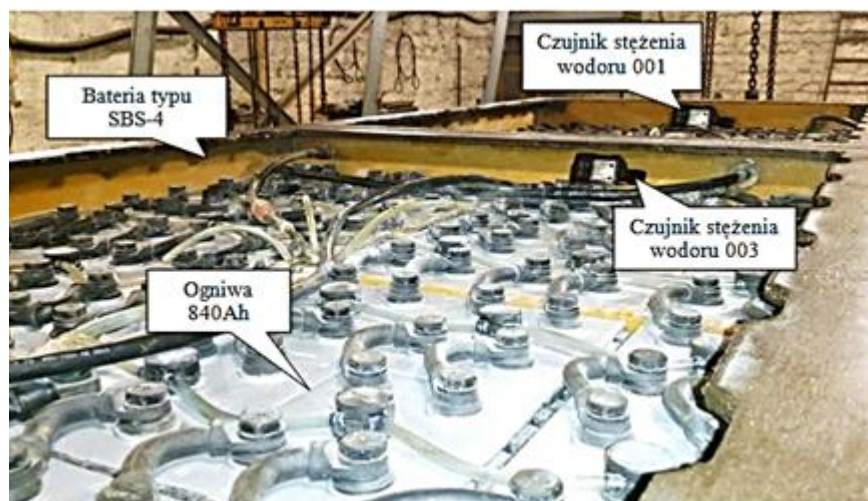
## 1. Wprowadzenie

Eksploatacja coraz głębszych pokładów, przy zachowaniu istniejących systemów wentylacyjnych, wymusza na użytkownikach maszyn górniczych ograniczanie, a w skrajnych przypadkach całkowite eliminowanie silników spalinowych z pracy w tych rejonach. Alternatywą dla maszyn z napędem spalinowym są maszyny zasilane elektrycznie. Są to maszyny zasilane z trakcji lub z akumulatorów. Maszyny górnicze z zasilaniem akumulatorowym są coraz częściej stosowane. W górniczych lokomotywach z zasilaniem akumulatorowym, ze względu na właściwości trakcyjne, takie jak: wysoka siła pociągowa, mniejsze wpadanie w poślizg, stosowane są ogniwa kwasowo-ołowiowe o pojemności do 1000 Ah [5]. Są to ogniwa dopuszczone do stosowania w maszynach górniczych pracujących w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (pozostałe to ogniwa niklowo-kadmowe oraz niklowo-metalowo-wodorowe). Ogniwa kwasowo-ołowiowe w procesie ładowania bądź doładowywania wydzielają wodór, który w określonych stężeniach staje się gazem wybuchowym. Ustawodawca w normie nr PN-EN 1889-2+A1(2010) *Maszyny dla górnictwa podziemnego. Podziemne maszyny samobieżne.*

*Bezpieczeństwo. Część 2: Lokomotywy szynowe*, wprowadził następujące obostrzenie: „...w skrzyni, przedziale i/lub pokrywie akumulatora należy zastosować odpowiednie otwory wentylacyjne, aby nie występowało niebezpieczne stężenie oparów. Przy szacowaniu wymaganej wentylacji, stężenie gazów elektrolitycznych powinno być mniejsze niż 2%, w celu uniknięcia niebezpieczeństwa zapłonu”. Z analizy stanu wiedzy wynika, że skuteczność wentylacji baterii akumulatorów w czasie pracy maszyny nie jest w żaden sposób weryfikowana. W związku z powyższym, w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG przeprowadzono badania identyfikujące stopień stężenia wodoru, w odniesieniu do poziomu bezpieczeństwa oraz efektywności pracy górniczych lokomotyw zasilanych z akumulatorów. Wyniki badań wykazały konieczność opracowania autonomicznego systemu monitorowania parametrów baterii ogniwoładowych, który wykonano przy współpracy z firmą GABRYPOL.

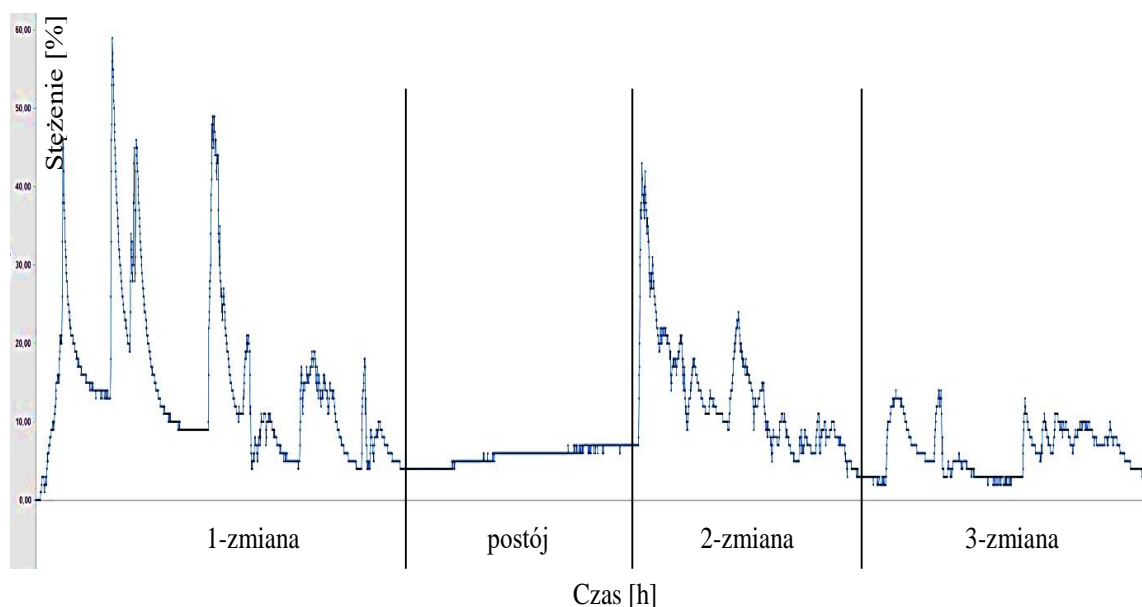
## 2. Badania stężenia wodoru w skrzyni baterii akumulatorów

Badania przeprowadzono w wyrobisku korytarzowym kopalni węgla kamiennego. Obiektem badań była bateria akumulatorów górniczej dwukabinowej lokomotywy akumulatorowej serii Lea. Rejestrowano stężenie wodoru we wnętrzu skrzyni baterii akumulatorów w czasie pracy lokomotywy górniczej. Trasa jazdy lokomotywy podczas badań była zróżnicowana, i wynikała bezpośrednio z warunków i zakresu pracy tej maszyny. Należy odnotować, że główne drogi przewozowe były pozbawione nachyleń. Lokomotywa transportowała ładunek o średniej masie ok. 10000 kg. Stężenie wodoru mierzono za pomocą dwóch czujników katalitycznych umieszczonych w komorach baterii akumulatorów (rys. 1). Pomiar wykonywano przez 4 zmiany robocze (ok. 24 h).



Rys. 1. Rozmieszczenie czujników stężenia wodoru we wnętrzu baterii akumulatorów [1]

Rejestrowano procentowe stężenie wodoru DGW (Dolna Granica Wybuchowości), a następnie obliczano stężenie objętościowe, co wynikało z potrzeby określenia wybuchowego stężenia wodoru (wodór w powietrzu jest gazem wybuchowym w stężeniu od 4 do 75% obj.). Jako 100% DGW przyjęto wartość 4% obj. Pomiar stężenia wodoru poniżej 40% DGW oznaczał spełnienie wymagań bezpieczeństwa. Na rysunku 2 pokazano przykładowy przebieg stężenia wodoru zarejestrowanego w czasie prowadzonych badań.



Rys. 2. Przebieg stężenia wodoru zarejestrowany podczas badań [2]

Jak wynika z przebiegu na rysunku 2, najwyższe stężenie wodoru zarejestrowano podczas pierwszej zmiany – 60% DGW (2,4% obj.). Również w trakcie trwania drugiej zmiany stężenie wodoru przekraczało 40% DGW (1,6% obj.). Dopiero na trzeciej zmianie, stężenie wodoru spadło poniżej 20% DGW (0,8% obj.). Wysokie stężenie wodoru, zarejestrowane podczas pierwszej zmiany roboczej, wynikało z faktu, że bateria była wtedy w pełni naładowana i hamowanie elektryczne z rekuperacją energii powodowało doładowanie ogniw i emisję wodoru. Ponadto w trakcie trwania pierwszej zmiany, ruch maszyn transportowych jest najbardziej intensywny.

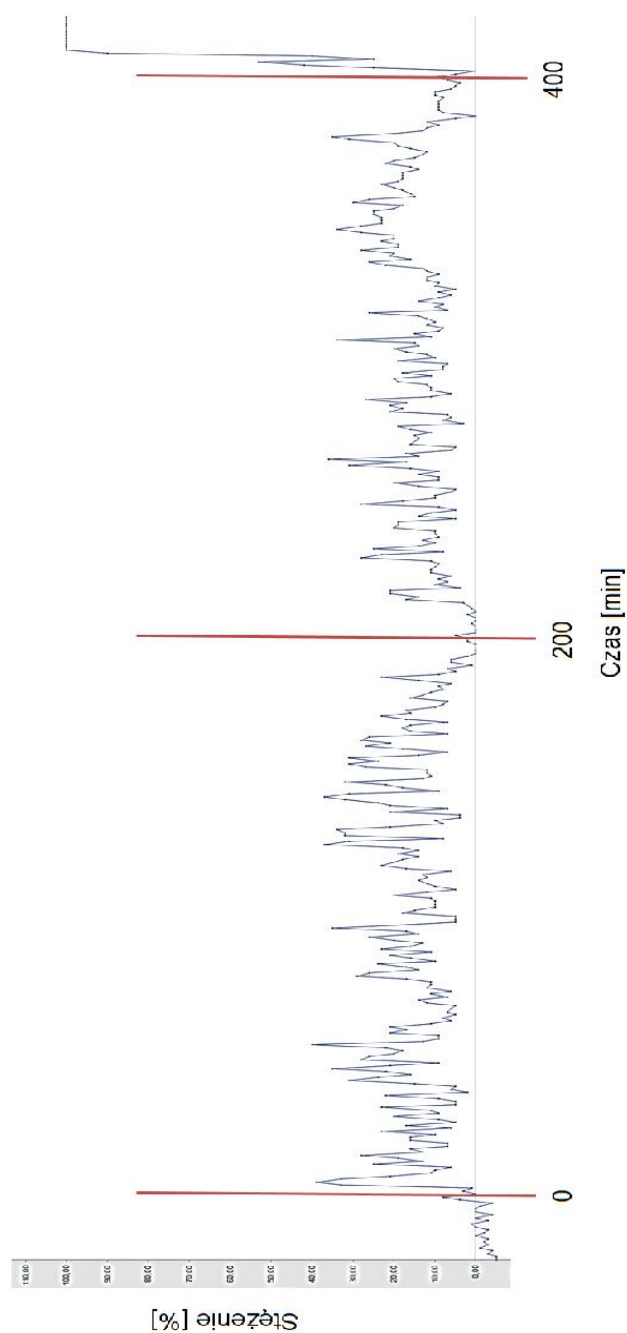
Podobna sytuacja ma również miejsce w trakcie ładowania baterii ogniw w ładowni akumulatorów. Procedura ładowania, składa się z dwóch następujących po sobie faz:

**Faza I** – ładowanie baterii prądem o możliwie jak najwyższym natężeniu, nieprzekraczającym wartości maksymalnej prądu wyjściowego przekształtnika BMA. Faza I zostaje uznana za zakończoną w momencie rozpoczęcia przez ogniwa gazowania i uzyskania na zaciskach ogniw napięcia o wartości 2,4 V/ogniwo. W zależności od stopnia rozładowania czas ładowania podczas fazy I wynosi ok. 7-9 godzin.

**Faza II** – ładowanie baterii akumulatorów prądem o natężeniu ok. 50 A. Czas trwania fazy II nastawiany jest ręcznie przez pracowników kopalni. Z reguły jest to czas pomiędzy 5-7 godzin. Wyłączenie przekształtnika następuje automatycznie po upływie nastawionego czasu, bądź zdalnie w przypadku zaobserwowania oznak pełnego naładowania. Baterię można uznać za w pełni naładowaną jeżeli w dwóch kolejnych pomiarach dokonanych w odstępach 1-godzinnych zostanie stwierdzone:

- stała wartość napięcia, na zaciskach ogniw, z dokładnością do  $\pm 0,05$  V,
- stała gęstość elektrolitu,
- silne gazowanie ogniw.

Na rysunku 3 pokazano przykładowy przebieg stężenia wodoru zarejestrowany w trakcie badań procesu ładowania baterii ogniw ołowiowych w komorze ładowania w kopalni.



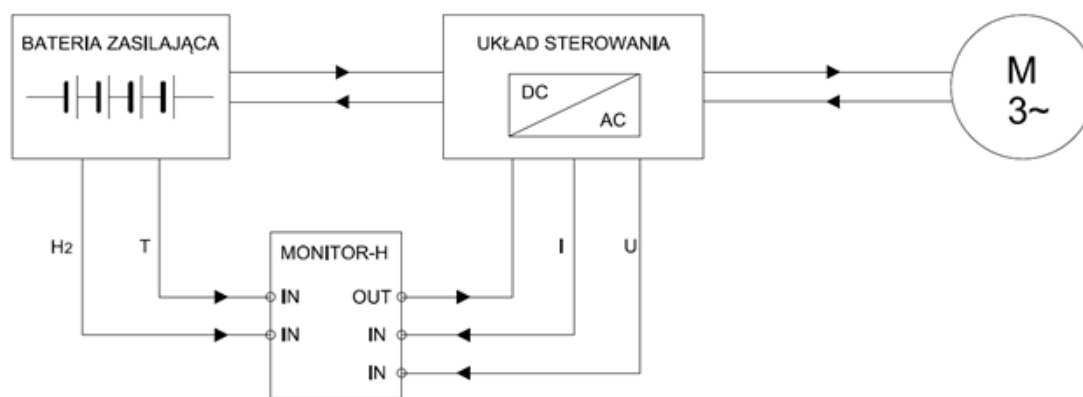
Rys. 3. Przebieg stężenia wodoru zarejestrowany podczas badań w ładowni akumulatorów [5]

Jak wynika z rysunku 3, końcowy proces ładowania baterii ogniwoładowych wiąże się z przekroczeniem stężenia wodoru powyżej 100% DGW. Jest to bardzo niebezpieczne dla obsługi komory ładowania w kopalni. Ponadto wpływa niekorzystnie na żywotność stosowanych ogniwoładowych.

Zmierzone wartości stężenia wodoru pozwoliły stwierdzić, że wymogi normy odnośnie maksymalnego stężenia wodoru (poniżej 2% obj.) w trakcie pracy lokomotywy górniczej zasilanej z akumulatorów, jak również podczas ich ładowania, nie były spełnione. W związku z powyższym zaistniała konieczność opracowania systemu monitorowania emisji stężenia gazu elektrolitycznego (wodoru) podczas pracy górniczych lokomotyw zasilanych akumulatorowo.

### 3. Budowa i zasada działania systemu MONITOR-H

System autonomicznego monitorowania baterii ogniwołowiowych (MONITOR-H), jest prosty, bezpieczny oraz niezawodny w działaniu. Konstrukcja o niewielkich gabarytach, umożliwia łatwy montaż w istniejących skrzyniach baterii akumulatorów. System może być konfigurowany do indywidualnych potrzeb użytkownika. Na rysunku 4 pokazano schemat blokowy przedmiotowego systemu monitorowania.



Rys. 4. Schemat blokowy systemu MONITOR-H [3]

Działanie system monitorującego polega na ciągłym pomiarze temperatury ogniwo wewnątrz skrzyni baterii ogniwołowiowych oraz na ciągłym pomiarze stężenia wodoru wydostającego się z baterii podczas jej ładowania i doładowywania. Pomiary te realizowane są za pomocą dwóch czujników temperatury oraz dwóch czujników katalitycznych, służących do pomiaru gazów palnych. Ważnym aspektem jest możliwość pomiaru stężenia wodoru w dwóch zakresach – niskim do 100% DGW oraz wysokim powyżej 100% DGW. Taki sposób pomiaru jest wymagany z uwagi na konieczność uzyskania dopuszczenia do pracy w przestrzeniach potencjalnie zagrożonych wybuchem. Czujniki podłączone są do przetwornika analogowo-cyfrowego, w który wyposażono mikrokontroler. Zmierzone napięcie poprzez odpowiednio zastosowany przetwornik a/c mikrokontrolera, przetworzone zostaje na odpowiednią wartość liczbową. W zależności od funkcji czujnika (pomiar temperatury lub stężenie wodoru), uzyskana wartość liczbowa jest porównywana z liczbą wzorcową zapisaną w programie mikrokontrolera. Wynikiem działania programu jest informacja wyświetlana na module wyświetlacza lub wysyłana przez magistralę CAN do jednostki sterującej maszyną (opcja). Dodatkowo, przewidziano możliwość podłączenia, poprzez magistralę CAN, przekaźnika wykonawczego, który w sytuacji przekroczenia dopuszczalnej wartości temperatury lub dopuszczalnego poziomu stężenia wodoru umożliwi dalszą pracę maszyny. System MONITOR-H składa się z dwóch modułów nadajnika oraz z modułu odbiornika [4]. Moduł nadajnika II systemu, przewidziany jest do umieszczenia we wnętrzu skrzyni baterii akumulatorów, zaś miejscem lokalizacji modułu nadajnika I powinna być skrzynia wyposażenia elektrycznego maszyny akumulatorowej. Moduł odbiornika znajdować się będzie w kabinie maszynisty. Z uwagi na konstrukcję skrzyń baterii akumulatorów stosowanych w górnictwie węgla kamiennego, powinny być zastosowane dwie sztuki modułu nadajnika II. Zapewni to pełniejszy monitoring skrzyni baterijnej. Integracja opracowanego systemu monitorowania parametrów pracy baterii ogniwołowiowych z istniejącymi układami sterowania maszyn zasilanych z akumulatorów,



polepszy ich funkcjonalność oraz zwiększy bezpieczeństwo stosowania tego typu ogniw. Dzięki wykorzystaniu technologii komunikacji bezprzewodowej opracowany system MONITOR-H może być usytuowany we wnętrzu skrzyni baterii ogniw ołowiowych. Uniwersalność tego systemu umożliwia jego zastosowanie zarówno w nowych rozwiązaniach (dzięki pośrednictwu protokołu komunikacyjnego CAN), jak również w dotychczas stosowanych maszynach zasilanych z akumulatorów.

Zintegrowanie opracowanego systemu MONITOR-H z układem sterowania maszyną akumulatorową poprzez odpowiedni przekaźnik wykonawczy umożliwi:

- ochronę ogniw przed uszkodzeniem wynikającym z emisji wodoru oraz obecności wysokiej temperatury pracy,
- wydłużenie ich żywotności poprzez ograniczenie niekorzystnego wpływu ich gazowania oraz obecności wysokiej temperatury pracy,
- utrzymanie pożądanego stanu naładowania baterii dzięki rejestrowaniu w trybie on-line rzeczywistej wartości pojemności baterii akumulatorów,
- poprawę bezpieczeństwa obsługi poprzez współdziałanie z aplikacją zarządzającą maszyną akumulatorową.

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania w rzeczywistych warunkach w kopalni wykazały, że baterie ogniw ołowiowych wydzielają w czasie pracy oraz ładowania wodór o stężeniu przekraczającym dopuszczalne (określone w normach) wartości. Taka sytuacja stwarza zagrożenie dla pracowników obsługujących maszyny z bateriami kwasowo-ołowiowymi, jak również wpływa niekorzystnie na żywotność samych ogniw. Ponadto wysokie temperatury pracy ogniw ołowiowych mogą w pewnych sytuacjach (powyżej 45°C) doprowadzić do rozkładu elektrolitu we wnętrzu ogniwa i nieodwracalnie uszkodzić baterię. Opierając się na obowiązujących dokumentach prawnych zdecydowano się opracować i zbudować autonomiczny system monitorowania baterii ogniw ołowiowych. Opracowany system umożliwia pomiar takich parametrów, jak: rzeczywisty poziom rozładowania baterii, temperaturę we wnętrzu skrzyni baterii akumulatorów, umożliwia również rejestrację emisji stężenia wodoru wydzielanego z baterii ogniw w procesie jej doładowania bądź ładowania. Opracowane w ITG KOMAG rozwiązanie, ma za zadanie wspomagać pracę operatorów maszyn zasilanych z akumulatorów. Obsługujący górnictwem maszynę zasilaną z akumulatorów będzie otrzymywał informacje na temat wartości stężenia wodoru we wnętrzu baterii wraz z temperaturą panującą w otoczeniu ogniw. W przypadku przekroczenia dopuszczalnych wartości, system poprzez zastosowany przekaźnik wykonawczy uniemożliwi dalszą pracę maszyny, aż do czasu ustabilizowania się bezpiecznych wartości mierzonych we wnętrzu skrzyni baterii ogniw ołowiowych. Zastosowane technologie pomiarowe zapewnią jego prawidłową i bezpieczną eksploatację. Obecnie prowadzone są badania opracowanego i wykonanego autonomicznego systemu monitorowania parametrów baterii ogniw ołowiowych.

## Literatura

- [1] Kurpiel W., Miedziński B., Polnik B.: Control of hydrogen concentration in the power supply and control systems of a mining battery locomotive with energy recuperation applied. *Mining Informatics Automation and Electrical Engineering*. 2015 nr 2 s. 42-49 (87-94), ISSN 2449-6421.
- [2] Polnik B.: Jakość energii elektrycznej napędów górniczych lokomotyw akumulatorowych w aspekcie emisji gazu elektrolitycznego. *Maszyny Elektryczne Zeszyty Problemowe*. 2015 nr 106 s. 73-78, ISSN 0239-3646
- [3] Polnik B.: Autonomiczny system monitorowania parametrów bezpiecznej pracy ogniw ołowiowych. XXIII Sympozjum Naukowo-Techniczne „SEMAG 2017”. Mysłakowice k. Jeleniej Góry, 29 - 31 maja 2017 r.
- [4] System monitorowania ogniw ołowiowych - Projekt nr POIR.02.03.02-24-0070/15-00 realizowany w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, Poddziałanie 2.3.2 Bony na innowacje dla MŚP
- [5] Autonomiczny system monitoringu parametrów bezpiecznej pracy baterii akumulatorów lokomotywy górniczej - Praca statutowa rok 2015 (materiały niepublikowane)



Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



Projekt jest realizowany w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, Oś priorytetowa II: Wsparcie otoczenia i potencjału przedsiębiorstw do prowadzenia działalności B+R+I, Poddziałanie 2.3.2 **Bony na innowacje dla MŚP**. Instytucją pośredniczącą jest **Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości**

