

System monitorowania baterii ogniw ołowiowych

Bartosz Polnik
Wojciech Kurpiel

System for monitoring lead-acid battery pack

Streszczenie:

Górnictwo maszyn akumulatorowe zasilane są w większości z baterii ogniw kwasowo-ołowiowych. Ogniwa te w czasie ładowania bądź doładowywania wydzielają wodór, który w określonych stężeniach jest gazem wybuchowym. Świadomość tego zagrożenia jest coraz bardziej powszechna wśród użytkowników maszyn akumulatorowych a swoje zainteresowanie skutecznością wentylacji skrzyń bateryjnych wyrażają pracownicy zakładów górniczych oraz urzędnicy organu nadzoru rynku. W artykule przedstawiono wyniki badań skuteczności wentylacji skrzyń akumulatorowych, oraz wskazano problemy z nią związane. Zaproponowano nowoczesne rozwiązanie poprawiające bezpieczeństwo pracy maszyn akumulatorowych zasilanych z baterii ogniw ołowiowych. Omówiono budowę i zasadę działania autonomicznego systemu monitorowania parametrów pracy baterii ogniw ołowiowych, jak również zastosowane w nim technologie pomiarowe.

Słowa kluczowe: górnictwo, elektrotechnika, elektronika, maszyny akumulatorowe, ogniwa ołowiowe, wodór, metrologia, bezpieczeństwo

Keywords: mining industry, electrical engineering, electronics, battery-powered machines, lead-acid cells, hydrogen, metrology, safety

Abstract:

Mining machines are often powered by lead-acid batteries. During charging and recharging of the batteries, hydrogen is released from the cells, posing the risk of explosion when a certain hydrogen concentration level is exceeded. Users of the battery powered machines are becoming more aware of the risk, and people working in mining plants as well as mining authorities are more concerned about how efficient battery box ventilation is. The results of tests on the efficiency of ventilation of battery boxes, as well as the problems related to it are presented in the article. A state-of-the-art solution to improve the safety of operation of the lead-acid battery powered machines was proposed. The design and operation of the autonomous monitoring system of lead-acid battery parameters as well as the measurement technologies used in it were discussed.

1. Wprowadzenie

Kopalniane systemy transportu poziomego ulegają ciągłemu rozwojowi. Powstają nowoczesne rozwiązania maszyn spalinowych i elektrycznych. Eksploatacja coraz głębszych pokładów, przy zachowaniu istniejących systemów wentylacyjnych, wymusza na użytkownikach ograniczanie a w skrajnych przypadkach całkowite wyeliminowanie stosowania maszyn z napędem spalinowych z tych rejonów. Alternatywą dla tych maszyn są rozwiązania maszyn z napędem elektrycznym. Rozróżniamy maszyny zasilane z trakcji bądź maszyny akumulatorowe. Z uwagi na mobilność, rozwiązania akumulatorowe są częściej stosowane.

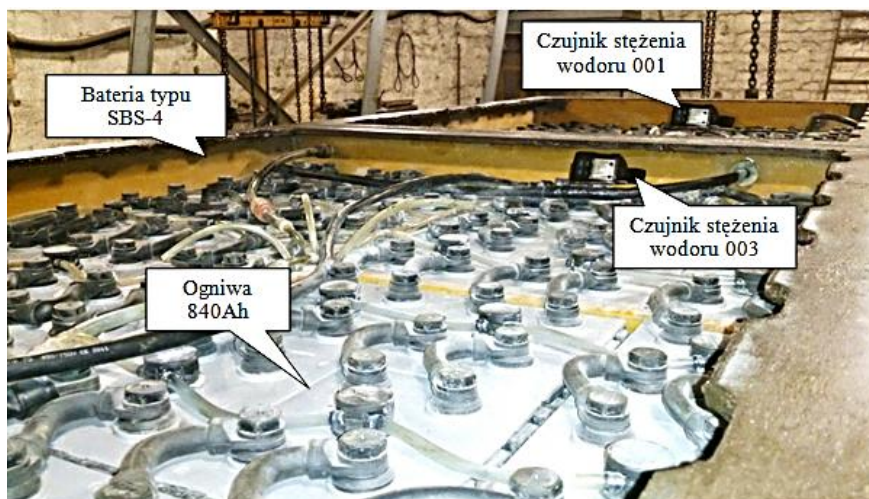
W górnictwie lokomotyw akumulatorowych, ze względu na właściwości trakcyjne, do zasilania stosowane są dotąd wyłącznie ogniwa kwasowo-ołowiowe o zróżnicowanej pojemności (do 1000Ah). Są to jedne z trzech rodzajów ogniw, dopuszczonych do stosowania w maszynach górniczych pracujących w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Pozostałe to niklowo-kadmowe oraz niklowo-wodorkowo-metalowe. Ogniwa kwasowo-ołowiowe w procesie ładowania bądź doładowywania wydzielają wodór, który w określonych

stężeniach jest gazem wybuchowym. W związku z powyższym norma PN-EN 1889-2+A1:2010 „Maszyny dla górnictwa podziemnego. Podziemne maszyny samobieżne. Bezpieczeństwo. Część 2: Lokomotywy szynowe” zawiera 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 przeprowadzonej analizy stanu wiedzy wynika, że skuteczność wentylacji baterii akumulatorów w czasie pracy maszyny nie jest w żaden sposób monitorowana. Z tego powodu, przeprowadzone zostały badania mające na celu sprawdzenie, czy istnieje konieczność monitorowania stopnia stężenia wodoru, w celu zapewnienia bezpieczeństwa oraz zachowania efektywności pracy górniczych lokomotyw akumulatorowych. Na podstawie uzyskanych wyników opracowano i wykonano, przy współpracy z firmą GABRYPOL, prototyp autonomicznego systemu monitorowania parametrów baterii ogniwoładowych, któremu nadano nazwę MONITOR-H.

2. Skuteczność wentylacji skrzyń akumulatorowych

Celem zweryfikowania skuteczności wentylacji skrzyń baterijnych stosowanych w podziemiach kopalń węgla kamiennego, zostały przeprowadzone badania wstępne. Badania przeprowadzono w wyrobiskach korytarzowych wybranych kopalń węgla kamiennego. W czasie badań rejestrowano stężenie wodoru we wnętrzu baterii akumulatorów.

Pomiar stężenia wodoru realizowano za pomocą dwóch czujników katalitycznych umieszczonych w komorach baterii akumulatorów (rys. 1).

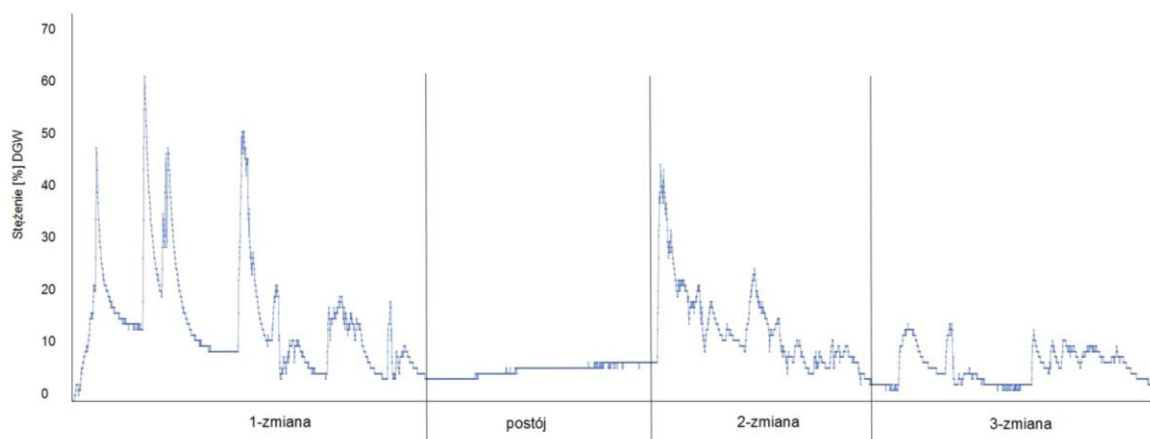


Rys.1. Rozmieszczenie czujników stężenia wodoru we wnętrzu baterii akumulatorów [1]

Rozmieszczenie czujników stężenia wodoru wynikało z budowy ognioszczelnej baterii SBS-4 oraz kierunku jazdy lokomotywy. Czujniki stężenia wodoru, umieszczone we wnętrzu naładowanej baterii akumulatorów, rejestrowały stężenia wodoru podczas pracy lokomotywy górniczej aż do momentu jej rozładowania. Pomiar trwał cztery zmiany robocze (24 h).

Rejestrowano procentowe stężenie wodoru w odniesieniu do DGW (Dolnej Granicy Wybuchowości). Przeliczenie ze stężenia procentowego na objętościowe wynikało z potrzeby określenia wybuchowego stężenia wodoru (wodór w powietrzu jest gazem wybuchowy

w stężeniu od 4 do 75% obj.). Jako 100% DGW przyjęto wartość 4% obj. Odniesienie % DGW do zapisu z normy PN-EN 1889-2+A1:2010, dotyczącego przewietrzania skrzyni akumulatorowej (tak, aby stężenie wodoru nie przekraczało 2% obj.), skutkowało tym, że pomiar stężenia wodoru poniżej 40-50% DGW oznaczał spełnienie wymagań bezpieczeństwa. Na rysunku 2 pokazano przykładowy przebieg zarejestrowanego stężenia wodoru w czasie prowadzonych badań.



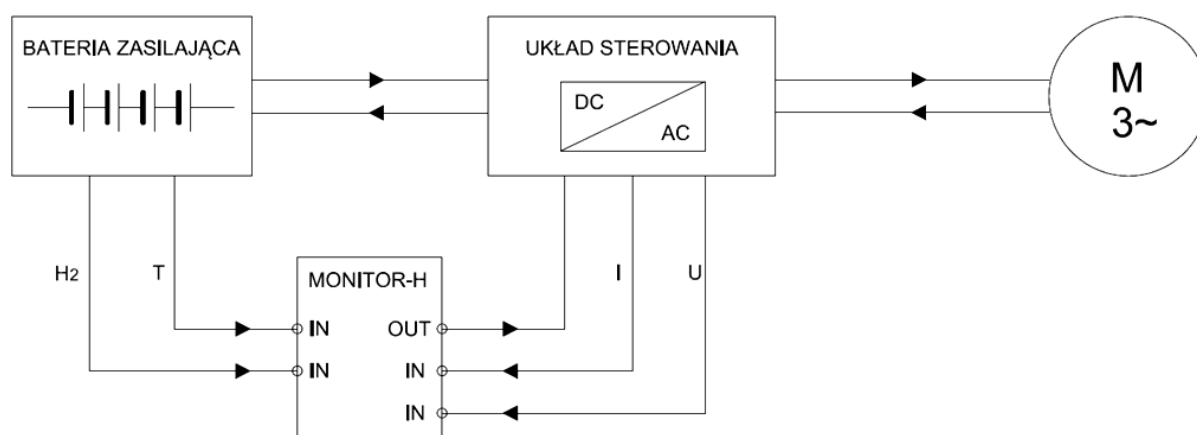
Rys.2. Przebieg stężenia wodoru zarejestrowane podczas pracy lokomotywy Lea 12P3A [2]

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.

Badania górniczych lokomotyw akumulatorowych umożliwiły ocenę skuteczności systemu wentylacji skrzyń baterii akumulatorowych. Uzyskane wartości stężenia wodoru pozwoliły stwierdzić, że wymogi normy odnośnie maksymalnego stężenia wodoru (poniżej 2% obj.) w trakcie pracy maszyn akumulatorowych nie były spełnione. W związku z powyższym powstała konieczność opracowania innowacyjnego systemu monitorowania emisji stężenia gazu elektrolitycznego (wodoru) podczas pracy górniczych lokomotyw akumulatorowych i zastosowania go w układach sterowania tych maszynach, w taki sposób, aby nie dopuścić do przekroczenia stężenia dopuszczalnego wodoru w skrzyniach baterii akumulatorowych.

3. Budowa i zasada działania systemu MONITOR-H

System autonomicznego monitorowania baterii ogniw ołowiowych, jest prosty w budowie, bezpieczny oraz niezawodny w działaniu. Jego zwarta konstrukcja o niewielkich gabarytach umożliwia łatwy montaż w istniejących skrzyniach baterii akumulatorów. Modułowa architektura systemu pozwala na szybkie prototypowanie (przygotowywanie w krótkim czasie projektów od fazy koncepcyjnej do produkcyjnej). Oznacza to, że system monitorowania może być konfigurowany do indywidualnych potrzeb użytkownika. Powyższe możliwości zwiększają funkcjonalność przedmiotowego systemu. Na rysunku 3 pokazano schemat blokowy przedmiotowego systemu monitorowania.



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

Główne cele systemu monitorowania baterii ogniwołów zgodnie z założeniami to:

- ochrona ogniwołów przed uszkodzeniem,
- przedłużenie żywotności,
- utrzymanie pożądanego stanu baterii,
- współdziałanie z aplikacją hostingową.

Ochrona - Istotną funkcją systemu jest monitorowanie i kontrola ogniwołów przed działaniem w niesprzyjających warunkach. Jest to szczególnie istotne w maszynach transportowych z powodu trudnych warunków pracy. Nowo opracowany system monitorowania baterii ogniwołów musi być odporny na warunki eksploatacyjne i jednocześnie musi zaspokajać potrzeby użytkownika pod względem mocy, energii, temperatury pracy, cyklu życia baterii.

Żywotność - Poprzez efektywną kontrolę warunków pracy akumulatorów ich żywotność jest maksymalizowana. System monitorowania parametrów pracy baterii ogniwołów zapewnia optymalny algorytm ładowania, dzięki czemu wszystkie ogniwa pozostają na pożądanym poziomie działania. Zostaje ograniczony negatywny wpływ na żywotność i wytrzymałość baterii.

Komunikacja - Aby zapewnić lepszą kontrolę i większy poziom informacji dla użytkownika, system monitorowania baterii dostarcza informacji do aplikacji hostingowej. Zaliczamy tutaj informacje na temat pozostałej pojemności (wskaźnik poziomu energii), napięcia, temperatury, poboru prądu, ostrzeżeń i liczbie cykli a przede wszystkim emisji wodoru wydzielającego się we wnętrzu baterii akumulatorów.

Działanie system monitorującego polega na ciągłym pomiarze temperatury ogniwołów we wnętrzu skrzyni baterii ogniwołów oraz na ciągłym pomiarze stężenia wodoru wydostającego się z baterii podczas jej ładowania i doładowywania. Pomiarzy te realizowane są za pomocą dwóch czujników temperatury oraz dwóch czujników katalitycznych służących do pomiaru gazów palnych. Czujniki te, są podłączone do przetwornika analogowo-cyfrowego, w który wyposażony jest mikrokontroler. Zmierzone napięcie poprzez odpowiednio zastosowany przetwornik a/c mikrokontrolera będzie przetwarzane na wartość liczbową. W zależności od funkcji czujnika (pomiar temperatury lub stężenie wodoru), wartość liczbowa będzie porównywana z liczbą wzorcową zapisaną w programie mikrokontrolera. Wynikiem działania programu będzie informacja wyświetlana na module wyświetlacza. Informacja ta może być również wysyłana poprzez 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 uniemożliwi dalszą pracę maszyny. System MONITOR-H składa się z dwóch modułów nadajnika oraz z modułu odbiornika (rys. 4).



Rys. 4. Widok prototypu systemu MONITOR-H [4]

4. Zastosowane technologie pomiarowe

W opracowanym systemie monitorowania parametrów pracy baterii ogniwo-owych można wyróżnić dwie główne zastosowane technologie monitorowania:

- monitoring energii,
- monitoring wodoru.

Monitoring energii - W działaniu modułu nadajnika I, na potrzebę pomiaru prądu, zastosowano przetworniki pomiarowe wykorzystujące do działania tzw. efekt Halla. Przetworniki elektryczne (rys. 5), zastosowane w przedmiotowym rozwiązaniu transformują prąd pierwotny na izolowany galwanicznie sygnał proporcjonalny do wartości chwilowej lub skutecznej tego prądu w szerokim paśmie częstotliwości od 0 do 800 kHz. Stosowane są do pomiaru prądów stałych i zmiennych do 20 kA (do zastosowań przemysłowych i w trakcji elektrycznej) oraz bardzo dużych prądów w procesach galwanicznych do 500 kA.



Rys. 5. Przetworniki elektryczne firmy LEM [5]

Głównym celem stosowania przetworników elektrycznych jest uzyskanie izolowanego od strony pierwotnej niskonapięciowego sygnału analogowego lub cyfrowego odzwierciedlającego wartość chwilową lub skuteczną, elektrycznej wartości mierzonej z wystarczającą dokładnością w danym paśmie częstotliwości. Sygnał ten może być odczytywany lub rejestrowany na mierniku lub monitorze, jak również przetwarzany w celu wykorzystania w układach sterujących dowolnym procesem lub urządzeniami.

Monitoring wodoru - Do pomiaru stężenia wodoru w przedmiotowej aplikacji zastosowane zostały komory eksplozymetryczne. Ważnym aspektem jest możliwość pomiaru w dwóch zakresach – niskim do 100% DGW (dolna granica wybuchowości) oraz wysokim powyżej 100% DGW. Taki zakres pomiarowy jest wymagany na potrzeby uzyskania dopuszczenia do pracy w przestrzeniach potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu lub/i pyłu węglowego. Technologia działania zastosowanej komory eksplozymetrycznej oparta jest na zjawisku spalania katalitycznego. Czujniki wyposażone w sensory katalityczne są przeznaczone do pomiaru stężenia i wykrywania obecności gazów oraz par substancji palnych w powietrzu, w zakresie do około 100% DGW. Dla zapewnienia prawidłowych warunków pracy detektora, należy go zabezpieczyć przed bezpośrednią ekspozycją na związki zatruwające i inhibitory.

Sensor katalityczny nie jest selektywny - reaguje (z różną czułością) na większość substancji palnych pojawiających się w jego otoczeniu. Z uwagi na to konieczne jest uwzględnienie ich obecności w czasie pracy czujnika. Stosując czujniki z sensorami katalitycznymi, należy być świadomym następujących faktów:

- Długotrwała obecność istotnych stężeń powoduje szybsze zużycie sensora. Zasadniczo sensory katalityczne służą do wykrywania incydentalnej obecności gazów palnych. Nie powinny one pracować w atmosferach, w których gazy palne o stężeniach powyżej około 20% DGW występują w sposób ciągły, bądź długotrwały, gdyż może prowadzić to do szybkiego zmniejszenia ich czułości i pojawienia się dryftu zera.
- Stężenia powyżej 100% DGW, nawet chwilowo utrzymujące się, mogą prowadzić do fizycznego zużycia się sensora. Z powyższych powodów czujniki pracujące w miejscach, gdzie mogą wystąpić takie warunki są/powinny być wyposażane w mechanizmy zabezpieczające przed negatywnym działaniem wysokich stężeń.
- Bardzo wysokie stężenie gazu palnego (znacznie powyżej 100% DGW) prowadzi do zmniejszenia stężenia tlenu - tym samym do obniżenia wskazania sensora. Stężenia objętościowe zbliżone do 100% mogą dać w efekcie zerową reakcję sensora (np. małe pomieszczenie i duże ilość gazu palnego uwolnione do atmosfery).

Do poprawnego działania sensora katalitycznego niezbędny jest tlen. Jeżeli monitorowana atmosfera zawiera gaz lub gazy, które rozrzedzają lub zastępują powietrze (zmniejszając przez to stężenie tlenu), na przykład azot lub dwutlenek węgla, to czujnik katalityczny może dać niską lub nawet zerową odpowiedź. Podobny efekt może wystąpić w przypadku uwolnienia do atmosfery dużej ilości gazu reakcyjnego (tworzącego stężenie powyżej zakresu pomiarowego) – z powodu zbyt małej ilości tlenu, wskazanie stężenia przez czujnik będzie mniejsze niż w rzeczywistości, a może nawet wynieść zero.

Temperatura może mieć wpływ na charakterystykę sensora. W zakresie parametrów środowiskowych czujnika wpływ temperatury jest kompensowany na drodze elektronicznej. Należy zadbać, by czujnik nie był narażony na uderzenia oraz wibracje przekraczające amplitudę (międzyszczytową) drgań wynoszącą 0,15 mm dla częstotliwości powyżej 10 Hz. W żadnym wypadku przyspieszenie szczytowe nie powinno przekroczyć wartości $19,6 \text{ m/s}^2$.

5. Podsumowanie

Użytkownicy maszyn górniczych zasilanych z baterii ogniwo-owych uważają, że system wentylacji skrzyni przeciwwybuchowej jest wystarczający, a w jej wnętrzu nie gromadzi się wodór o niebezpiecznym stężeniu. Przeprowadzone badania w warunkach rzeczywistych w kopalni wykazały, że istniejące baterie ogniwo-owych wydzielają w czasie pracy wodór o stężeniu przekraczającym dopuszczalne (określone w normach) wartości. Podobna sytuacja ma również miejsce w trakcie ładowania baterii w ładowni akumulatorów, jednakże to pomieszczenie powinno być odpowiednio wentylowane oraz być wyposażone w stacjonarne czujniki stężenia wodoru lub pomiaru przepływu powietrza.

Zasadne jest zatem, aby doposażyć użytkowane baterie ogniwo-owych, a także wszystkie nowe znajdujące zastosowanie w podziemiach kopalń w system monitoringu, np. zaproponowany w tym artykule. Podstawowymi parametrami mierzonymi przez zaproponowany układ są stężenie wodoru oraz temperatura we wnętrzu skrzyni przeciwwybuchowej. Wysoka temperatura pracy (powyżej 35°C) niekorzystnie wpływa na żywotność ogniwo-owych. Doprowadzenie zaś do temperatury powyżej 45°C grozi rozkładem elektrolitu we wnętrzu ogniwa i nieodwracalnemu uszkodzeniu baterii. Dodatkowo w trakcie rozkładu elektrolitu, do atmosfery również wydzielany jest wodór. Opracowane w ITG KOMAG rozwiązanie, ma za zadanie wspomagać bezpieczne użytkowanie maszyn akumulatorowych a nie ograniczać ich stosowanie. Użytkownik (maszynista) obsługujący górniczą maszynę akumulatorową zasilaną z ogniwo-owych będzie otrzymywał informacje na temat wartości stężenia wodoru we wnętrzu baterii i temperatury panującej w otoczeniu ogniwo-owych. W sytuacji przekroczenia dopuszczalnych wartości mierzonych parametrów, system uniemożliwi dalszą pracę maszyny, aż do czasu ustabilizowania się bezpiecznych warunków pracy we wnętrzu skrzyni baterii ogniwo-owych. Technologie pomiarowe zastosowane w przedmiotowym rozwiązaniu autonomicznego systemu monitorowania parametrów baterii ogniwo-owych zapewniają jego prawidłową i bezpieczną eksploatację. Wybrane technologie pomiarowe, spełniają wszystkie wymagania, jakie konstruktorzy założyli na etapie projektowania. Wszelkie zagrożenia wynikające z zastosowanej technologii, mogące mieć negatywny wpływ na poprawność prowadzonego monitoringu zostały przeanalizowane oraz wyeliminowane na drodze elektronicznej. Należy zaznaczyć, że wybór zastosowanych technologii pomiarowych, wynika z wieloletnich doświadczeń zespołu specjalistów opracowujących autonomiczny system monitorowania parametrów baterii ogniwo-owych.

Literatura

- [1] Juszczyk Z.; Kurpiel W.; Polnik B.: Autonomiczny system monitorowania parametrów bezpiecznej pracy ogniwo-owych. *Maszyny Górnicze*, nr 3/2017r. str. 58-64, ISSN 2450-9442.
- [2] 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.
- [3] 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.

- [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 MSP.
- [5] Autonomiczny system monitoringu parametrów bezpiecznej pracy baterii akumulatorów lokomotywy górniczej - Praca statutowa rok 2015 (materiały niepublikowane).

dr inż. Bartosz Polnik

bpolnik@komag.eu

mgr inż. Wojciech Kurpiel

wkurpiel@komag.eu

Institut Techniki Górniczej KOMAG

ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

Czy wiesz, że

.....koncepty Przemysłu 4.0 i Internetu rzeczy są obecnie bardzo powszechne jako rozwiązania, które mogą zrewolucjonizować przemysł, zwiększając bowiem możliwości wykorzystania narzędzi i rozwiązań komputerowych do optymalizacji inżynierii produkcji. Dotyczy to również skomplikowanych i złożonych procesów w górnictwie, umożliwiając pozyskanie cennych informacji z danych. Liczba dostawców technologii IoT i narzędzi analitycznych mogących znaleźć zastosowanie w przemyśle wydobywczym stale rośnie. Do najważniejszych rozwiązań IoT, ułatwiających digitalizację procesów górniczych, można zaliczyć: zastosowanie predykcyjnej analityki, wdrożenie algorytmów sztucznej inteligencji lub uczenia maszynowego, zaawansowaną wizualizację danych, interoperacyjność, przechowywanie danych w czasie rzeczywistym, zdalne zarządzanie urządzeniami górniczymi oraz technologię opartą na chmurze.

Inżynieria Mineralna 2019 nr 1 s. 267-272