

Projektowanie napędów maszyn górniczych zasilanych z baterii akumulatorów nowej generacji

mgr inż. Zdzisław Budzyński
mgr inż. Bartosz Polnik
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie:

W artykule przedstawiono problemy związane z konstruowaniem maszyn górniczych na przykładzie ciągnika podwieszonego, w którym zastosowano po raz pierwszy w światowym górnictwie, nową generację baterii akumulatorów z ogniwami litowymi. Szczególną uwagę zwrócono na bezpieczeństwo w czasie eksploatacji i na specjalne, dotychczas nie stosowane, systemy zabezpieczeń baterii akumulatorów, umożliwiające pracę w wyrobiskach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Obecnie stosowane baterie z ogniwami ołowiowo-kwasowymi wymagają specjalnych komór do ładowania, nowe rozwiązanie z ogniwami litowymi jest przystosowane do ładowania w dowolnym miejscu trasy transportowej. Ciągnik PCA-1 dostosowany jest do ładowania z ogólnodostępnych urządzeń górniczych, będących na wyposażeniu kopalń.

Słowa kluczowe: napędy maszyn górniczych, baterie akumulatorów, ogniwa litowe, zabezpieczenia baterii, aparatura łączeniowa

Keywords: drives of mining machines, pack of batteries, lithium cells, batteries protection systems, connecting devices

Abstract:

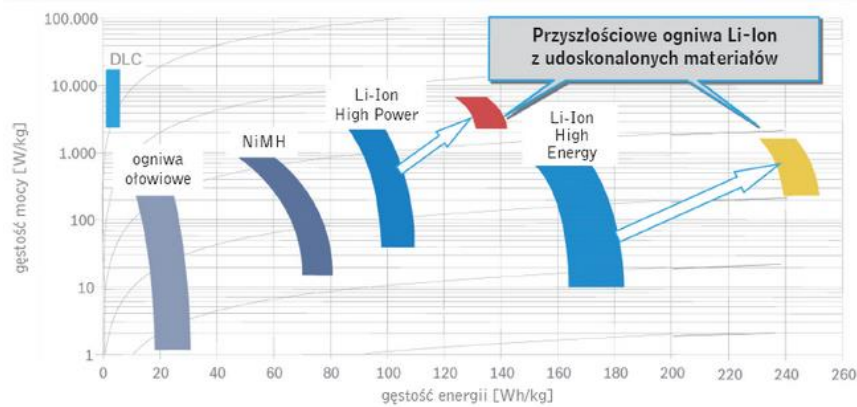
Problems of designing the mining machines on the example of suspended drivetrain, in which the new generation batteries with lithium cells were used for the first time in the mining industry are presented. Special attention was paid to safety measures enabling operation in workings threatened by methane and/or coal dust explosion hazard, which had been not used before. The batteries with lead-acid cells used so far, require special rooms for recharging, the new solutions with lithium cells enables charging the batteries at any place along the transportation route. PCA-1 drivetrain is adapted to be charged from all devices available in the mine.

1. Rodzaj ogniw i parametry energetyczne baterii

Ciągniki podwieszone zaprojektowane i wykonane w kraju są pierwszymi w światowym górnictwie maszynami górniczymi w wykonaniu przeciwwybuchowym, które są zasilane z baterii akumulatorów litowych. Napędy maszyn górniczych zasilanych z baterii ogniw w zależności od przeznaczenia, wymagają ciągłego dostarczania im energii elektrycznej o odpowiednich parametrach, przez całą zmianę wydobywczą. W zależności od przeznaczenia maszyny i jej charakteru pracy, bateria może być wymieniana lub ładowana w trakcie postojów technologicznych. Podstawowym parametrem do sporządzenia poprawnego bilansu energetycznego jest moc zainstalowana na maszynie, liczba cykli oraz występujące obciążenia. Istotnym jest wybór napięcia zasilania baterii, który musi uwzględniać napięcie znamionowe dostępnych na rynku silników lub możliwość ich przezwojenia, w ramach posiadanego certyfikatu [4]. Ustalone napięcie zasilania pozwala wybrać rodzaj ogniwa i jego pojemność. Dostępne na rynku ogniwa różnią się napięciem, gęstością energii i mocy oraz trwałością, ilością cykli ładowania i typoszeregiem pojemności (rys. 1).

Dobór ogniw uzależniony jest od warunków pracy maszyny. Dla lokomotyw szynowych istotą jest kryterium dużej masy. Dla ciągników podwieszonych, celowym jest stosowanie ogniw charakteryzujących się małą masą i gabarytami (dużym wskaźnikiem gęstości energii Wh/kg) [2]. Cechami tymi charakteryzują się ogniwa nowej generacji, z grupy litowych:

- Litowo-jonowe (Li-ion), o napięciu znamionowym 3,3 V,
- Litowo-polimerowe (Li-poly), o napięciu znamionowym 3,7 V,
- Litowo-żelazowo-fosforanowe (Li-FePO₄), o napięciu znamionowym 3,2.



Rys. 1. Parametry ogniw akumulatorowych [6]

Ogniwa litowo-jonowe posiadają jedną ujemną elektrodę wykonaną z grafitu i drugą dodatnią, z tlenków metali. Elektrolit tworzą złożone chemicznie sole litowe rozpuszczone w mieszaninie organicznych rozpuszczalników. Pierwsze akumulatory, z powodu nierównomiernego odkładania się metalicznego litu na elektrodzie ujemnej podczas ładowania, stwarzały zagrożenie wybuchem. Dopiero akumulatory wykonane po 1991 r. z zastosowaniem litu w postaci jonów (bez metalicznego litu) oraz po wykonaniu elektrody dodatniej z tlenków kobaltu, niklu lub manganu, a elektrody ujemnej ze specjalnego grafitu, stały się bezpieczniejsze. Wydzielane na elektrodzie ujemnej, podczas ładowania, atomy litu nie tworzą metalicznej warstwy, lecz wnikają w jej strukturę. Parametrami optymalnej pracy, w aspekcie żywotności ogniw, jest temperatura otoczenia od -20°C do $+70^{\circ}\text{C}$. Zaletami tych ogniw jest stosunkowo wysoka gęstość mocy i energii. Charakteryzują się one cechą braku „efektu pamięci”. Baterię akumulatora można ładować i doładowywać wielokrotnie, bez obawy o żywotność akumulatora. Zaletą jest też niski stopień samoczynnego rozładowania [7].

Obecnie dostępne są na rynku ogniwa litowe o dużych pojemnościach: polimerowe produkcji południowokoreańskiej oraz żelazowo-fosforanowe produkcji chińskiej.

Rozwiązaniem przyszłościowym, z uwagi na parametry oraz brak ładowania energią elektryczną, będą akumulatory wanadowe, składające się z dwóch komór, oddzielonych od siebie półprzewodzącą przegrodą. Zazwyczaj elektrody są grafitowe. Komory są wyłożone grafitem, a wewnątrz komór wypełnione watą grafitową. Do komór tłoczony jest ze zbiorników wodny roztwór jonów wanadu w kwasie siarkowym, zawierający wanad o różnym stopniu utlenienia. W wyniku procesów elektrochemicznych, które zachodzą w roztworach na elektrodzie dodatniej, pojawia się niedobór a na ujemnej nadmiar elektronów. Zamiast elektrycznego ładowania, wymienia się roztwory a zużyte podlegają regeneracji.

Maszyny mobilne zasilane z baterii akumulatorów litowych nowej generacji charakteryzują się wieloma zaletami, tj.:

- nieograniczonym zasięgiem pracy urządzenia,
- możliwością doładowywania baterii w miejscu pracy,
- zastosowaniem typowych, dopuszczonych silników indukcyjnych lub z magnesami trwałymi,
- płynną regulacją prędkości oraz zmianą kierunku jazdy,
- odzyskaniem energii w procesie hamowania elektrycznego,
- brakiem negatywnego oddziaływania ogniw na środowisko pracy,
- modułową konstrukcją urządzenia.

1.1. Obliczenia energetyczne

Sposób sporządzenia bilansu energetycznego przedstawiono na przykładzie ciągnika akumulatorowego PCA-1. Do wykonania obliczeń zapotrzebowania energii przyjęto dwa silniki o mocy 1,1 kW każdy, do mechanizmu jazdy oraz opcjonalnie dwa silniki mocy 1,1 kW, do obsługi belki transportowej w czasie załadunku i rozładunku. W bilansie energetycznym uwzględniono występujące obciążenia w czasie cyklu pracy oraz przyjęto możliwość dwukrotnego doładowania baterii przez 10 minut na stacjach transportowych. Wyniki obliczeń wykazały, że zapotrzebowanie energetyczne dla ciągnika wynosi 4,86 kWh/zmianę, a ciągnika z belką transportową 4,98 kWh/zmianę. W przerwach między zmianami przewidziano ładowanie uzupełniające [1].

1.2. Parametry ogniw

Dostępne silniki samohamowne o mocy 1,1 kW produkowane są na napięcia 3x230 V, 3x400 V oraz 3x500 V. Założono, że ładowanie baterii odbywać się będzie z ogólnie dostępnych zespołów transformatorowych, będących na wyposażeniu kopalń. Wybrano zatem napięcie 3x230 V. Dla ww. napięcia sieci 3-fazowej napięcie baterii powinno wynosić min. 322 V DC. Dla baterii o napięciu 322 V i energii 4,98 kWh należało zastosować 100 ogniw o napięciu znamionowym 3,2 V i pojemności min. 15 Ah. Z uwagi na wymóg monitorowania każdego ogniwa w czasie pracy i ładowania, należy dążyć do ograniczenia liczby ogniw w baterii. W rozwiązaniu ciągnika PCA-1 zestawiono baterię z 15 ogniw o pojemności 100Ah, uzyskując wymaganą energię (napięcie 48 V DC). Konieczny do zamiany zasilania prądu stałego na przemienny, przekształtnik energoelektroniczny zasila uzwojenie pierwotne transformatora. Napięcie wtórne transformatorowe wynosi 3x230 V AC i jest źródłem zasilania dla silników napędowych [5]. Zastosowanie transformatora jest ekonomicznie uzasadnione tylko do niewielkich mocy zainstalowanych w maszynie (oprócz korzyści w ograniczeniu liczby ogniw dodatkowo uzyskujemy galwaniczną separację sieci prądu stałego od przemiennego).

2. Wymagania norm w zakresie ogniw nowej generacji przeznaczonych do stosowania w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem

Podstawowe normy zharmonizowane z Dyrektywą ATEX w zakresie stosowania ogniw i baterii litowych o dużych pojemnościach w maszynach górniczych stanowią:

- a) PN-EN 60079-0:2013-03 Atmosfery wybuchowe - Część 0: Urządzenia - Podstawowe wymagania. Norma dopuszcza stosowanie ogniw litowych zgodnie z normą IEC 61960. Baterie wewnątrz urządzeń przeciwybuchowych powinny składać się wyłącznie z ogniw połączonych szeregowo. Dopuszcza się wymianę ogniw jak również baterii przez użytkownika.
- b) PN-EN 60079-1:2014-12 Atmosfery wybuchowe. Część 1: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą osłon ognioszczelnych „d”. W aneksie E (normatywnym) tej normy pkt. E.1 nie dopuszcza się stosowania we wnętrzu osłony ognioszczelnej ogniw i baterii, które w czasie normalnej pracy mogą uwalniać gazy elektrolityczne (albo za pomocą naturalnej wentylacji albo ciśnieniowego zaworu odprężającego). Punkt E.2.1 dopuszcza stosowanie ogniw litowych spełniających wymagania normy IEC 61960 oraz dopuszcza możliwość

ładowania we wnętrzu osłon ognioszczelnych ogniwo z zamknięciem gazoszczelnym, po spełnieniu wymagań pkt. E.5.2 określonych przez producenta w dokumentacji warunków ładowania oraz powinny być zastosowane elementy zabezpieczenia w celu zapewnienia, że warunki nie są przekroczone. Muszą być spełnione wymagania pkt. E.5.5, gdy bateria jest wyposażona w element zabezpieczenia odłączający prąd ładowania i zabezpieczający przed powstawaniem i możliwością uwalniania gazów elektrolitycznych, jeżeli napięcie dowolnego ogniwa w baterii przekroczy napięcie maksymalne, określone przez producenta ogniwa.

- c) PN-EN 60079-2:2014-2 Atmosfery wybuchowe. Część 2: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą osłon gazowych z nadciśnieniem „p”. W aneksie G (normatywnym) tej normy dopuszcza stosowanie ogniwo litowych zgodnie z normą PN-EN 60079-0.
- d) PN-EN 60079-5:2015-5 Atmosfery wybuchowe. Część 5: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą osłony piaskowej „q”. Norma dopuszcza stosowanie ogniwo litowych o znamionowym prądzie nie większym niż 16 A, o napięciu niższym od 1000 V i znamionowej mocy mniejszej lub równej 1000 W.
- e) PN-EN 60079-7:2010 Atmosfery wybuchowe – Część 7: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą budowy wzmocnionej "e". Norma nie przewiduje możliwości stosowania baterii litowych o pojemności większej niż 25 Ah.
- f) PN-EN 60079-18:2010 Atmosfery wybuchowe – Część 18: Zabezpieczenie za pomocą hermetyzacji "m". Norma dopuszcza stosowanie baterii litowych bez ograniczeń. Wymagania co do stosowania jak w normie PN-EN 60079-1:2014-12.

Normy zharmonizowane z Dyrektywą ATEX umożliwiają zastosowanie baterii litowych o pojemnościach większych od 25 Ah w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego, w osłonie ognioszczelnej „d”, w osłonie gazowej z nadciśnieniem „p” oraz za pomocą hermetyzacji „m”.

Stosowanie osłony gazowej dla obudowy posiadającej dużą ilość pokryw, złączy i wpustów przewodowych jest technicznie nieuzasadnione. Zastosowanie osłony za pomocą hermetyzacji „m” wyklucza możliwość wymiany pojedynczych ogniwo. Ogniwo o dużej pojemności są bardzo drogie i ten sposób stosowania zabezpieczeń jest ekonomicznie nieuzasadniony.

Jedynym sposobem zastosowania baterii litowych o pojemnościach większych od 25 Ah w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego jest umieszczenie ich w osłonie ognioszczelnej „d” i spełnienie wymagań Aneksu E.

3. Zabezpieczenia baterii akumulatorów w tym upływowych, w celu kontroli stanu izolacji sieci maszyny

Baterie zestawione z ogniwo litowych są szczególnie wrażliwe na niewłaściwą eksploatację, polegającą na ładowaniu prądem wyższym od dopuszczalnego. Przeładowanie baterii może spowodować uszkodzenie ogniwo, a nawet pożar. Podstawowym problemem w zakresie zabezpieczeń w takich układach jest kontrola stanu izolacji sieci prądu stałego maszyny oraz zabezpieczenie przed nadmiernym rozładowaniem i przeładowaniem ogniwo.

Stosowane dotychczas maszyny górnicze, zasilane z sieci prądu stałego, to lokomotywy akumulatorowe wyprodukowane w latach 60. i 70. ubiegłego wieku, eksploatowane bez zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Obecnie obowiązujące przepisy wymagają stosowania tych zabezpieczeń zarówno w sieciach prądu przemiennego, jak i stałego.

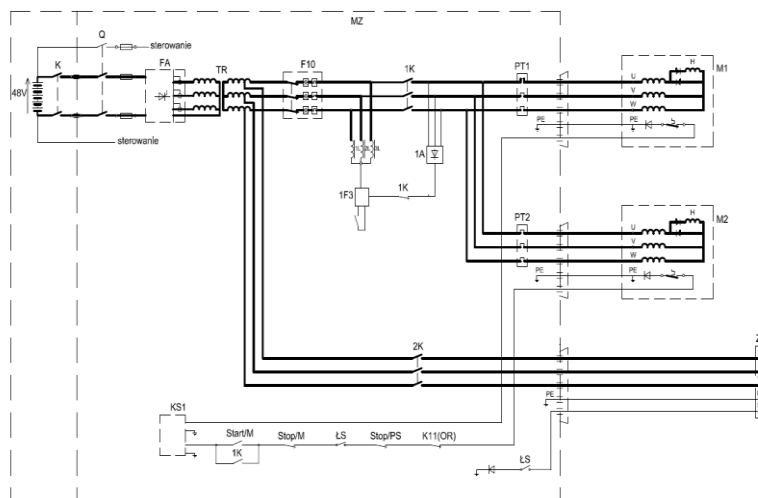
W normie PN-EN 1710+A1 z 2010 roku dotyczącej „Urządzeń i podzespołów przeznaczonych do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem w podziemnych wyrobiskach górniczych” w pkt. 4.3.4 sformułowano zapis, iż ochrona ziemnozwarciowa powinna być wykonana zgodnie z wymaganiami normy EN 60204-1 oraz że „W pojazdach zasilanych z akumulatorówobniżenie wartości rezystancji powinno być sygnalizowane operatorowi.” Ostatnim zapisem tego punktu jest „Uwaga 3 Wartości dopuszczalne zawarte są w przepisach krajowych”. Dla sieci prądu stałego brak jest zapisów w przepisach krajowych, dotyczących nastaw rezystancji oraz czasów działania.

Wymagania dotyczące czasów zadziałania są określone tylko dla sieci prądu przemiennego. Norma PN-EN 60204-1:2010, na którą powołuje się norma PN-EN 1710+A1 w rozdziale „6.3 Ochrona przed dotykiem bezpośrednim” podaje, że wyłączenie przez urządzenie ochronne powinno nastąpić w wystarczająco krótkim czasie, tak aby ograniczyć trwanie napięcia dotyku. W załączniku A do normy podano wymagane czasy zadziałania urządzenia ochronnego tylko dla sieci TN.

Definicja „wystarczająco krótki czas” może być zatem różnie interpretowana przez jednostki certyfikujące, np.: skoro brak jest nastaw rezystancji oraz czasów zadziałania dla sieci prądu stałego, to należy przyjąć parametry jak dla sieci prądu przemiennego. Producenci zabezpieczeń dla sieci prądu stałego nie spełniają parametrów sieci prądu przemiennego uważając, że obniżenie rezystancji zgodnie z normą PN-EN 60204-1:2010 w pojazdach zasilanych z akumulatorów powinno być jedynie sygnalizowane operatorowi.

Rozwiązaniem nie budzącym żadnych wątpliwości jest usytuowanie baterii, przemiennika częstotliwości oraz transformatora separującego w jednej osłonie ognioszczelnej. Przykładem zabezpieczenia sieci prądu przemiennego galwanicznie separowanego od sieci prądu stałego przedstawiono na rysunku 2.

Zestawiona z szeregowo połączonych ogniw bateria wymaga stałego systemu nadzoru i zarządzania, polegającego na monitorowaniu parametrów napięcia i temperatury każdego ogniwa. Ogniwa wykonane przez producenta z pewną tolerancją, w czasie ich użytkowania powodują, że różnice między nimi mogą się powiększać. Sumaryczne napięcie baterii może być mniejsze od znamionowego, co może sugerować, że należy ją doładować. Uruchomienie procedury ładowania baterii może spowodować niebezpieczne przeładowanie ogniwa o najwyższym napięciu. Analogicznie niskie napięcie baterii w zakresie dopuszczalnym przez producenta może powodować wchodzenie najsłabszego ogniwa w stan głębokiego rozładowania.



Rys. 2. Schemat zasilania z zabezpieczeniem ziemnozwarciowym sieci prądu przemiennego [3]

Na rynku akumulatorów oferowane są urządzenia do nadzoru i zarządzania ogniwami o napięciach nie stosowanych w górnictwie. Niektórzy producenci ogniw, oferują wykonanie do zamówionych baterii systemu tzw. BMS (Battery Management System), w których monitorowane są parametry ogniw oraz realizowane jest wyrównywanie napięć (aktywne lub pasywne). System aktywnego wyrównywania napięć w baterii polega na pomiarze napięcia każdego ogniwa i doładowaniu ogniwa o najniższym napięciu, przez określony w programie kontrolera czas, prądem z wewnętrznej ładowarki. Po tym czasie następuje przerwanie doładowania i ponowny pomiar napięć wszystkich ogniw, po którym następuje cykl doładowania ogniwa będącego aktualnie o najniższym napięciu.

System pasywny polega na pomiarze napięć wszystkich ogniw baterii, a następnie równoważeniu napięć przez czasowe rozładowanie układem rezystancyjnym ogniwa o najwyższym napięciu. Systemy aktywne, jak i pasywne reagują na stany awaryjne np.: wzrost temperatury ogniwa, oraz przekroczenie minimalnego i maksymalnego napięcia dopuszczalnego przez producenta ogniw. Pozostałe zabezpieczenia wymagane przepisami i normami nie stanowią większego problemu.

4. Aparatura łączeniowa dla sieci prądu stałego

W przemyśle oraz energetyce podstawowymi sieciami zasilającymi są 3-fazowe sieci prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz lub 60 Hz i napięciu od 400 V wzwyż. Sieci prądu stałego stosowane są jedynie w trakcji elektrycznej w komunikacji kolejowej oraz komunikacji miejskiej tramwajowej i trolejbusowej. W związku z powyższym na rynku znajduje się głównie aparatura łączeniowa przystosowana do stosowania ww. sieciach. Dla napędów zasilanych z baterii akumulatorów, które z reguły są na napięcia niższe od napięć w trakcji elektrycznej, brak jest aparatury łączeniowej. Stosowanie dostępnej na rynku aparatury w obwodach prądu stałego skutkuje koniecznością jej przewymiarowania prądowego lub łączenie w obwodzie szeregowo dwóch styków głównych przekaźników, styczników itp.

Wraz z rozwojem napędów elektrycznych w pojazdach samochodowych należy spodziewać się poprawy w zakresie aparatury łączeniowej przystosowanej do sieci prądu stałego.

5. Stosunek użytkowników oraz jednostek opiniujących i certyfikujących do rozwiązań nowatorskich

Nowatorskie rozwiązania są traktowane z reguły przez użytkowników z zainteresowaniem, ale również z dużą rezerwą. Zawsze zadawane jest pytanie, gdzie zastosowano już takie rozwiązanie. Szczególnie odnosi się to do ogniw litowych, których niebezpieczne przypadki pożarów wzbudzają niepokój.

Jednostki oceniające, również w przypadku zastosowania ogniw litowych, zachowują dużą rezerwę, a jeżeli podejmują się certyfikowania takich maszyn to wymagają nadzwyczajnych środków w zakresie konstrukcji, jak i zabezpieczeń. Największą uwagę koncentrują na zabezpieczeniu baterii akumulatorów litowych przed możliwością przeładowania. Przykładowo, dla ciągników przystosowanych do pracy po upadzie można baterię maksymalnie naładować do poziomu 92% jej pojemności znamionowej, aby w przypadku rozpoczęcia pracy po naładowaniu baterii, na trasie wymagającej hamowania nie doszło do jej przeładowania. System zabezpieczeń przed przeładowaniem musi być zdublowany, aby w przypadku awarii jednego z nich ogniwa baterii pozostały w dalszym ciągu zabezpieczone.

6. Rozwiązania konstrukcyjne

Podstawowymi problemami, z jakimi musi zmierzyć się projektant, to stała obecność napięcia na maszynie, hamowanie z oddawaniem energii oraz ładowanie baterii.

Problem stałej obecności napięcia zasilania na maszynie, którego praktycznie nigdy nie można wyłączyć, wymaga wykonania specjalnej konstrukcji skrzyni. Wydzielona część skrzyni aparaturowej zawierająca ogniwa powinna być dodatkowo zabezpieczona przed dostępem użytkownika, a prace związane z ich wymianą powinien wykonywać odpowiednio przeszkolony serwis producenta maszyny [7].

Baterie zestawione z ogniw litowych są szczególnie wrażliwe na niewłaściwą eksploatację, polegającą na ładowaniu prądem wyższym od dopuszczalnego, co powoduje wzrost temperatury oraz przeładowanie baterii, co może spowodować uszkodzenia ogniw, a nawet ich pożar. Konieczne są zatem ograniczenia w systemach hamowania i ładowania baterii.

Niektóre z dostępnych ogniw litowych nie posiadają sztywnej obudowy. Wymagają więc wykonania specjalnej konstrukcji mechanicznej do mocowania mechanicznego i elektrycznego.

7. Podsumowanie

Zastosowanie akumulatorów nowej generacji, charakteryzujących się bardzo dobrymi wskaźnikami gęstości energii do masy, stanowi alternatywę w stosunku innych źródeł energii.

Na podstawie analizy norm zharmonizowanych z Dyrektywą ATEX, jedynym sposobem zastosowania baterii litowych o dużej pojemności jest ich umieszczenie w osłonie ognioszczelnej „d”.

W związku z brakiem zapisów w normach, dotyczących nastaw rezystancji i czasów zadziałania zabezpieczeń ziemnozwarciowych w obwodach prądu stałego, rozwiązaniem jest usytuowanie baterii i przekształtnika energoelektronicznego w jednej osłonie ognioszczelnej.

Zabezpieczenie ogniw przed nadmiernym przeładowaniem lub zbyt głębokim rozładowaniem można realizować przez systemy aktywne lub pasywne z poziomem nienaruszalności bezpieczeństwa SIL 2.

Problem stałej obecności napięcia zasilania na maszynie, którego praktycznie nigdy nie można wyłączyć, wymaga wykonania specjalnej konstrukcji mechanicznej obudowy.

Należy przewidywać, że baterie złożone z ogniw nowej generacji znajdą również zastosowanie w napędach hybrydowych maszyn górniczych jako drugie źródło energii.

Literatura

- [1] Budzyński Z. [red]: Manewrowy ciągnik elektryczny do transportu materiałów i ludzi – Koncepcja zasilania i sterowania, ITG KOMAG, Gliwice 2009 (materiały niepublikowane)
- [2] Budzyński Z., Czerniak D., Drwięga A., Polnik B., Skupień K.: Akumulatorowy ciągnik podwieszany GAD-1 jako alternatywa rozwiązań z napędem spalinowym. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność KOMTECH 2011. Red. nauk.: A. Klich, A. Koziół. Gliwice: ITG KOMAG, 2011.
- [3] Budzyński Z., Dobrzaniecki P., Heliński M., Kaczmarczyk K., Polnik B., Suffner H.: Podwieszony ciągnik akumulatorowy PCA-1 kierunkiem rozwoju nowoczesnych urządzeń transportowych. W: Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo -

Efektywność - Niezawodność KOMTECH 2011. Red. nauk.: A. Klich, A. Kozieł. Gliwice: ITG KOMAG, 2011.

- [4] Budzyński Z., Kaczmarczyk K., Pieczora E.: Akumulatory nowej generacji w górniczych systemach transportowych na przykładzie ciągnika PCA-1. Napędy i Sterowanie 2012 nr 2 s. 108-111.
- [5] Budzyński Z., Drwięga A., Kaczmarczyk K., Pieczora E.: Innowacyjne rozwiązania górniczych urządzeń transportowych z napędem akumulatorowym. Maszyny Górnicze 2012 nr 1 s. 19-25,
- [6] Fetzer J.: 59 Międzynarodowa Konferencja dla Prasy Motoryzacyjnej, Boxberg czerwiec 2009 r.
- [7] Kaczmarczyk K.: Podwieszony ciągnik PCA-1 – nowatorskie rozwiązanie do prac transportowych w przodkach chodnikowych. W: Materiały konferencyjne: VI Międzynarodowa Konferencja: Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie. CBiDGP. Mysłowice – Ustroń 2011.

Czy wiesz, że

...wzrasta znaczenie krajów Afryki Południowej dla globalnej gospodarki. Widać to wyraźnie w stale zwiększającej się aktywności firm z całego świata na tym kontynencie. Kraje takie jak Francja czy USA mają silną pozycję w Afryce od dawna, podczas gdy Chiny, Indie i Brazylia rozpoczęły umacnianie swojej obecności na tamtejszych rynkach już ponad dziesięć lat temu. Przemysł niemiecki jest w Afryce Południowej również obecny, ale znacznie mniej aktywny niż w innych regionach świata. Pomimo dużego potencjału zapewniającego sukces na rynku afrykańskim, firmy niemieckie jak dotąd unikały większego zaangażowania. A tymczasem dla niemieckich dostawców urządzeń górniczych istnieją duże możliwości wzdłuż całego „łańcucha wartości dodanej”, począwszy od działalności poszukiwawczej, a kończąc na procesach przerobczych. Szczególnie warte podkreślenia są: optymalizacja procesów, zwiększenie wydajności pracy, rozwijanie technologii wydobywania metodą odkrywkową i górnictwa podziemnego, rekultywacja terenów pogórnicznych oraz kształcenie kadr.

Mining Report. Glückauf 2016 nr Special Issue s.62-71