

<https://doi.org/10.32056/KOMAG/KOMEKO2025.4>

Zespoły zasilania bateryjnego konstrukcji KOMAG-u do samojezdnych wozów strzelniczych pracujących w KGHM-Polska Miedź S.A.

Przemysław Deja – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: Opracowane w Instytucie KOMAG zespoły zasilania bateryjnego do samojezdnych wozów strzelniczych, są alternatywą dla rozwiązania z zasilaniem przewodowym. Zespoły zasilania bateryjnego opracowano w trzech wykonaniach. Wykonanie pierwsze zespołu zasilania bateryjnego (ZB-1) zastosowano samojezdnym na wozie strzelniczym typu WS-172 produkcji KGHM-Zanam. Wykonanie drugie zespołu zasilania bateryjnego (ZB-2) zastosowano na samojezdnych wozach strzelniczych WS-153, WS-173 oraz WS-173/S produkcji KGHM-Zanam. Są to rozwiązania oparte na ogniwach litowo-jonowych typu A123. Wykonanie trzecie zespołu zasilania bateryjnego zastosowano samojezdnym na wozach strzelniczych typu SWS-1700ENB produkcji LENA-Wilków. Trzecie wykonanie zespołu zasilania bateryjnego oparte jest na ogniwach niklowo-sodowych. Zespół zasilania bateryjnego zasila silnik elektryczny, który napędza pompę hydrauliczną, a ta z kolei modułowe urządzenie pompowe służące do wytwarzania i ładowania materiału wybuchowego.

Słowa kluczowe: górnictwo, wóz strzelniczy, bezpieczeństwo, zasilanie bateryjne

KOMAG-designed battery power supply units for self-propelled blasting vehicles operating at KGHM-Polska Miedź S.A.

Abstract: The battery power supply units for self-propelled gunnery vehicles developed at the KOMAG Institute are an alternative to the cable-powered solution. The battery power supply units were developed in three versions. The first version of the battery power supply unit (ZB-1) was used on a self-propelled gunnery vehicle type WS-172 manufactured by KGHM-Zanam. The second version of the battery power supply unit (ZB-2) was used on self-propelled gunnery vehicles type WS-153, WS-173 and WS-173/S manufactured by KGHM-Zanam. These are solutions based on lithium-ion cells. The third version of the battery power supply unit was used on self-propelled gunnery vehicles type SWS-1700ENB manufactured by LENA-Wilków. The third version of the battery power supply unit is based on nickel-sodium cells. The battery power unit powers an electric motor, which drives a hydraulic pump, which in turn drives a modular pumping device used to generate and charge the explosive.

Keywords: mining, blasting vehicle, safety, battery powered

1. Wprowadzenie

W zakładach górniczych pozyskujących kopalinę ze skał zwięzłych lub bardzo zwięzłych o wysokiej wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie (ponad 150 MPa), urabianie realizowane jest z wykorzystaniem robót wiertniczo-strzałowych [1]. Po wywierceniu otworów strzałowych w przodku, następuje ich załadowanie materiałem wybuchowym. Po wykonaniu odstrzału, urobek odstawiany jest przy wykorzystaniu ładowarek kołowych i wozów odstawczych, a strop zostaje zabezpieczony z zastosowaniem wozów kotwiących. Maszyny przodkowe (tj. wozy wierzące, wozy strzelnicze, wozy kotwiące) posiadają dwa źródła zasilania: do przemieszczania stosuje się napęd spalinowy, natomiast w przodkach (z uwagi na warunki wentylacyjne i emisję toksycznych spalin do otaczającej atmosfery kopalnianej) stosuje się zasilanie energią elektryczną. Wymaga to każdorazowo, po przyjeździe maszyny na miejsce pracy, rozwinięcia przewodu elektrycznego i jego zwinięcia po zakończeniu operacji technologicznych.

W samojezdnym wozach strzelniczych do napędu układu jazdy zastosowany jest wysokoprężny silnik spalinowy. Natomiast do napędu urządzeń technologicznych zabudowanych w tych wozach stosowany jest silnik elektryczny, który napędza pompę hydrauliczną, a ta z kolei modułowe urządzenie pompowe służące do wytwarzania i ładowania materiału wybuchowego [1]. Obsadę wozu strzelniczego stanowią 3 osoby: dwóch górników strzałowych oraz operator. W dotychczasowych rozwiązaniach silnik elektryczny zasilany był z kopalnianej sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym 500 V za pośrednictwem umieszczonego na zwijaku przewodu elektrycznego. Każdorazowe rozwijanie oraz zwijanie przewodu jest uciążliwe, często ulega uszkodzeniom mechanicznym i zajmuje ok. 2/3 czasu wykonywania operacji związanych z umieszczeniem materiałów wybuchowych w otworach strzałowych. Dodatkowo stwarza duże zagrożenie obwałem skał dla pracującej załogi wozu w rejonie przodka.

W rozdziale przedstawiono wyniki prac jakie zrealizowano w Instytucie KOMAG w Gliwicach nad opracowaniem, wykonaniem oraz wdrożeniem zespołów zasilania bateryjnego do samojezdnym wozów strzelniczych, będących alternatywą wobec rozwiązania z zasilaniem przewodowym.

2. Zespoły zasilania bateryjnego

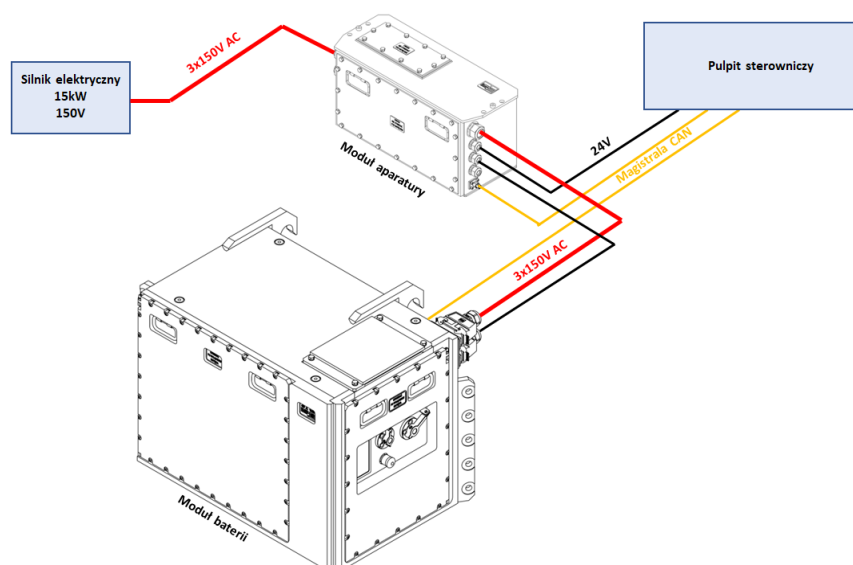
Zasadniczym celem konstruktorów na etapie projektowania zespołów zasilania bateryjnego do samojezdnym wozów strzelniczych była optymalizacja zużycia energii oraz podwyższenie bezpieczeństwa eksploatacyjnego. Prace projektowo-konstrukcyjne zostały poprzedzone badaniami jakie wykonano w warunkach rzeczywistej eksploatacji istniejącego przewodowego układu zasilającego wozu strzelniczego.

Pierwsze wykonanie zespołu zasilania baterijnego opracowane w 2017 roku składało się z trzech podzespołów: modułu baterii (ZB-1), modułu aparatury (ZA-1) zabudowanych na wozie strzelniczym oraz wolnostojącego modułu ładowania (MW). Ze względu na ograniczoną przestrzeń konstrukcyjną wozu strzelniczego, wyposażenie elektryczne zespołu zasilania baterijnego zostało rozmieszczone w dwóch oddzielnych modułach: module baterii oraz module aparatury. Moduł baterii, zainstalowany bezpośrednio na wozie strzelniczym, zawiera zestaw ośmiu kaset z ogniwami litowo-żelazowo-fosforanowymi (LiFePO_4), wyposażonymi w system nadzoru BMS (ang. Battery Management System), a także falownik, wyłącznik główny, zasilacz 24 V oraz urządzenia kontrolno-zabezpieczające. Poszczególne obwody wyprowadzono za pomocą złączy wtykowych. Na bocznych drzwiach modułu baterii zamontowano napęd wyłącznika głównego, przełącznik trybu pracy (ładowanie/praca bateryjna), wyłącznik awaryjny oraz wziernik z wyświetlaczem. Zastosowane ogniwa baterii charakteryzują się hermetyczną obudową i nie emitują gazów w warunkach normalnej eksploatacji, co eliminuje ryzyko pożaru. Moduł aparatury, zawierający pozostałe elementy elektryczne, zainstalowano również wozie strzelniczym. Obwody elektryczne tego modułu, ze względu na stały charakter połączeń, wyprowadzono przez dławnice kablowe. Parametry techniczne zespołu zasilania baterijnego (wykonanie 1) przedstawiono w tabeli 1 (kolumna 2).

System BMS pełni kluczową rolę w ochronie i nadzorze zestawu baterii. Monitoruje napięcia poszczególnych ogniw, napięcie całkowite baterii, natężenie prądu (zarówno podczas ładowania, jak i rozładowywania), a także temperaturę ogniw. W oparciu o zaprogramowane ustawienia, system steruje procesami ładowania i rozładowywania, kontrolując przepływ prądu z uwzględnieniem granicznych wartości – maksymalnych i minimalnych. Podczas procesu ładowania oraz bezpośrednio po jego zakończeniu, BMS wyrównuje napięcia poszczególnych ogniw za pomocą wewnętrznych rezystorów bocznikowych. Każde ogniwo jest indywidualnie monitorowane, aby zapewnić, że napięcie nie przekroczy dopuszczalnych granic. Na podstawie danych wejściowych – temperatury, napięć, prądów oraz ustawień w profilu akumulatora – system oblicza opór wewnętrzny, a także dopuszczalne wartości prądu ładowania i rozładowania. Wyznaczone parametry są dostępne na magistrali CAN i wykorzystywane do sterowania wyjściami cyfrowymi, umożliwiającymi lub blokującymi ładowanie i rozładowanie baterii. Obliczenia te pozwalają również na szacowanie aktualnego stanu naładowania akumulatora.

Dodatkowo BMS realizuje funkcję wyrównywania napięć poprzez rozładowywanie ogniw, których napięcie przekracza poziom pozostałych. Warto zaznaczyć, że ogniwa litowo-żelazowo-fosforanowe, używane w systemie, są bezpieczne – podczas normalnej pracy nie wydzielają gazów i nie stwarzają zagrożenia pożarowego. Na rysunku 1 przedstawiono blokowy schemat elektryczny ilustrujący

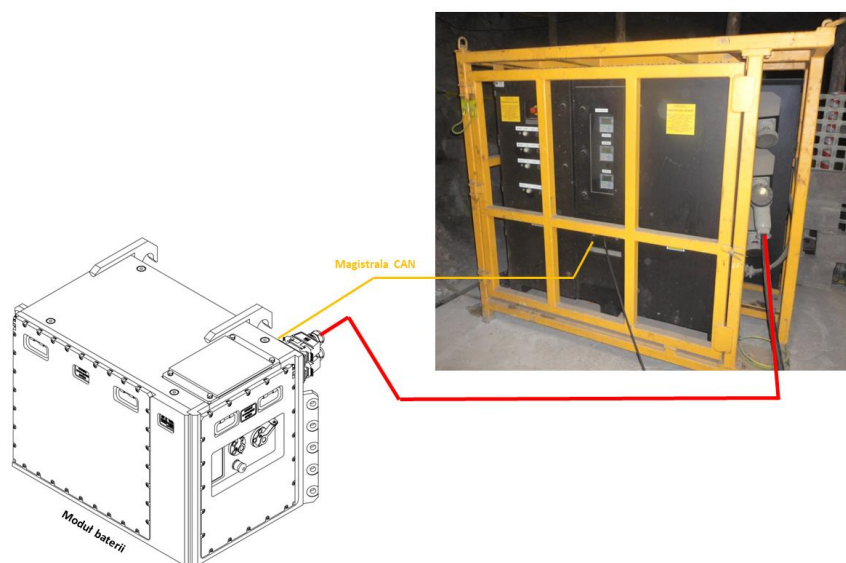
współpracę obu modułów z silnikiem elektrycznym o mocy 15 kW oraz pulpitem sterowniczym w trybie pracy bateryjnej.



Rys. 1. Blokowy schemat elektryczny (tryb pracy bateryjnej)

Moduł ładowania (MW) to wolnostojące urządzenie przeznaczone do ładowania modułu baterii (ZB-1). Jego producentem jest Zakład Energoelektroniki Twerd. Zasilanie modułu ładowania odbywa się z kopalnianej sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym 500 V, z izolowanym punktem neutralnym transformatora. Moduł posiada trzy niezależne wyjścia o mocy 20 kW każde, co umożliwia jednoczesne, bezpieczne ładowanie trzech modułów baterii o łącznej pojemności 96 kWh w czasie krótszym niż 2 godziny. Komunikacja z systemem nadzoru BMS realizowana jest przez magistralę CAN. Wyposażenie elektryczne modułu ładowania mieści się w metalowej obudowie o stopniu ochrony IP56, zabezpieczonej antykorozyjnie. Chłodzenie odbywa się pasywnie – wewnątrz szafy umieszczono wentylatory zapewniające cyrkulację powietrza.

Na rysunku 2 przedstawiono blokowy schemat elektryczny ukazujący współpracę modułu ładowania z modułem baterii podczas ładowania.



Rys. 2. Blokowy schemat elektryczny (tryb ładowania baterii)

Parametry techniczne zespołów zasilania bateryjnego

Tabela 1.

	Wykonanie 1	Wykonanie 2	Wykonanie 3
Rodzaj ogniw baterii	litowo-żelazowo-fosforanowe		sodowo-niklowe
Znamionowe napięcie baterii	264 V _{DC}		650 V _{DC}
Energia baterii	32 kWh		2 x 24,7 kWh
Napięcie znamionowe wyjściowe	3 x 150V; 50 Hz		3 x 400 V; 50 Hz
Maksymalna moc wyjściowa	15 kW		22 kW
Ładowanie baterii	Moduł ładowania baterii BCK-60	3x500V	3 x 500 V lub 3 x 1000 V
Doładowywanie baterii podczas jazdy wozu	brak		generator 3 x 500 V; 6 kW
Chłodzenie	pasywne		wodne
Interfejs komunikacyjny	magistrala CAN		
Stopień ochrony obudowy	IP 67		
Wymiary	1025 x 760 x 720 mm	1215 x 755 x 700 mm	1126 x 885 x 1270 mm
Masa	800 kg	875 kg	1250 kg

Proces ładowania przebiega w sposób całkowicie bezemisyjny, bezpieczny dla środowiska oraz ludzi, bez generowania zagrożenia pożarowego. Dzięki temu możliwe jest ładowanie baterii w dowolnym miejscu na terenie kopalni, bez konieczności korzystania ze specjalnych, wentylowanych pomieszczeń.

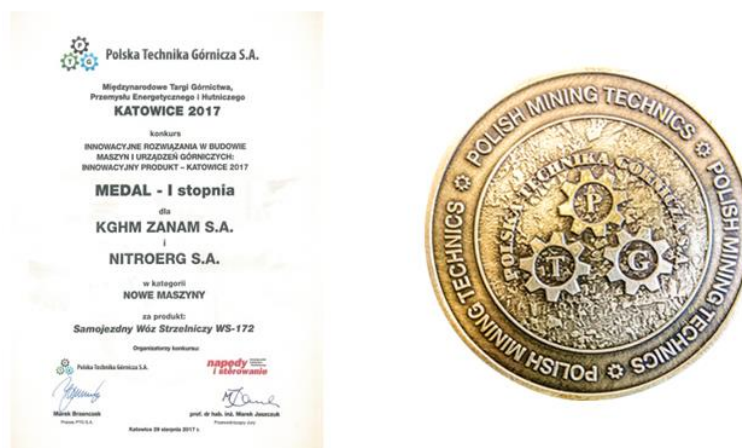
Pierwsze wykonanie zespołu zasilania bateryjnego zostało zastosowane w samojezdnym wozie strzelniczym WS-172 produkcji KGHM-Zanam (rys. 3). Po pomyślnym zakończeniu badań certyfikacyjnych i na podstawie decyzji Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego, wóz ten został dopuszczony do pracy w podziemiach kopalń. W latach 2018-2024 był eksploatowany w jednej z kopalń rudy miedzi, gdzie cieszył się bardzo dobrą opinią zarówno wśród górników strzałowych, jak i dozoru kopalnianego. Niemniej jednak, pewną niedogodnością tego rozwiązania pozostawała konieczność podjeżdżania wozu strzelniczego do dedykowanego modułu (MW) w celu naładowania baterii akumulatorów.



Rys. 3. Samojezdny wóz strzelniczy WS-172 produkcji KGHM-Zanam [2]

Wóz strzelniczy WS-172 był pierwszą na świecie maszyną wyposażoną w zasilanie bateryjne modułowego urządzenia do pompowania emulsyjnego materiału wybuchowego do otworów strzałowych oraz system podnoszenia kosza.

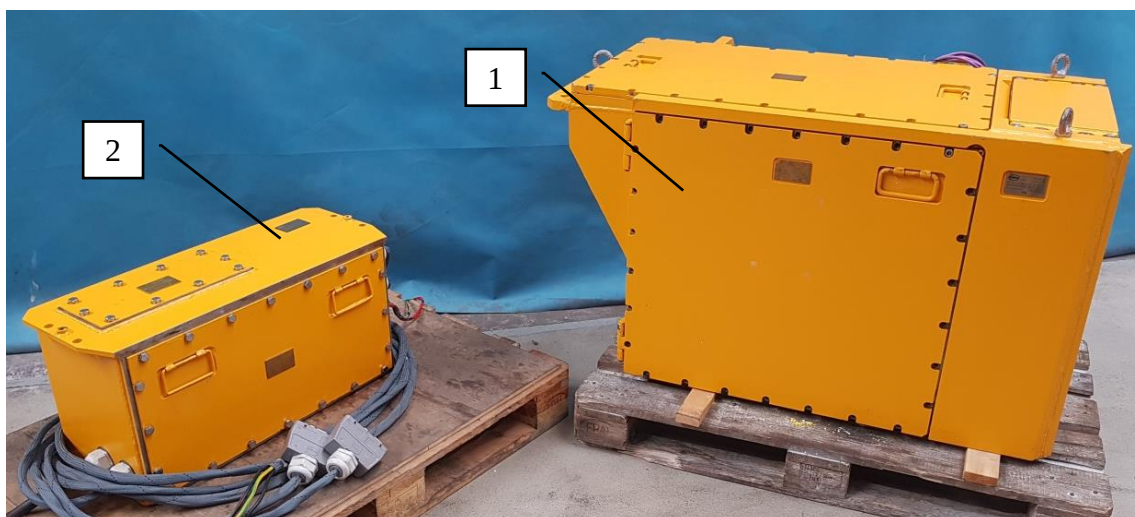
Samojezdny wóz strzelniczy WS-172 został wyróżniony jako innowacyjny produkt w kategorii „Nowe maszyny”. Nagroda została przyznana 29 sierpnia 2017 roku podczas Międzynarodowych Targów Górnictwa, Przemysłu Energetycznego i Hutniczego w Katowicach (rys. 4).



Rys. 4. Wyróżnienie - Innowacyjny produkt w kategorii „Nowe maszyny” [3]

Doświadczenia z pierwszego okresu eksploatacji wozu strzelniczego WS-172, a także analiza zgłaszanych uwag i sugestii jakościowych, umożliwiły rozpoczęcie w 2019 roku prac nad opracowaniem nowego, udoskonalonego rozwiązania zespołu zasilania bateryjnego dla układu roboczego samojezdnych wozów strzelniczych. Najistotniejszą zmianą w porównaniu do pierwotnej wersji było zintegrowanie ładowarki elektrycznej bezpośrednio w zespole baterii. Dzięki temu możliwe stało się ładowanie baterii bezpośrednio z kopalnianej sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym 500 V, bez potrzeby podjeżdżania wozu do dedykowanego stanowiska ładowania.

Projektując nowe rozwiązanie, konstruktorzy czerpali z doświadczeń zdobytych przy opracowywaniu pierwotnej wersji systemu. Głównym celem było zachowanie dotychczasowych parametrów technicznych, przy jednoczesnym zwiększeniu poziomu bezpieczeństwa oraz ergonomii obsługi. Nowa konstrukcja oraz zastosowane komponenty elektryczne bazują na rozwiązaniach z 2017 roku, uzupełnionych o dodatkowe elementy podnoszące funkcjonalność systemu. Jednym z wyzwań było umieszczenie ładowarki elektrycznej wewnątrz obudowy modułu baterii, przy ograniczonych możliwościach zwiększenia jego gabarytów. Podobnie jak w pierwotnym rozwiązaniu, z uwagi na ograniczoną przestrzeń na wozie oraz wymagania odbiorcy dotyczące wymiarów, wszystkie elementy elektryczne układu zasilającego zostały rozmieszczone w dwóch podzespółach: module baterii ZB-2 oraz module aparatury ZA-2 (rys. 5).



Rys. 5. Zespół zasilania bateryjnego (wykonanie 2) [3]

1) moduł baterii ZB-2, 2) moduł aparatury ZA-2

Proces ładowania baterii trwa maksymalnie 3,5 godziny, w zależności od stopnia jej rozładowania i odbywa się w sposób bezpieczny zarówno dla środowiska, jak i dla ludzi. Z tego względu możliwe jest ładowanie baterii w dowolnym miejscu w kopalni, bez potrzeby kierowania wozu do specjalnie wentylowanych pomieszczeń. Zwiększony czas ładowania w stosunku do wykonania pierwszego związany z aspektem termicznym. Zabudowanie dodatkowego elementu w postaci ładowarki w obudowie modułu baterii (ZB-2) jest dodatkowym i znaczącym źródłem ciepła. W związku z tym dla zapewnienia poprawności działania urządzenia konieczne było zmniejszenie prądu ładowania, a co za tym idzie zwiększenie czasu ładowania baterii. Parametry techniczne zespołu zasilania bateryjnego (wykonanie 2) przedstawiono w tabeli 1 (kolumna 3).

Nowe rozwiązanie w postaci drugiego wykonania zespołu zasilania bateryjnego zostało zastosowane w samojezdnym wozach strzelniczych typu WS-153, WS-173 oraz WS-173/S produkowanych przez KGHM-Zanam w Polkowicach (rys. 6). Wozy te po pozytywnym zakończeniu badań decyzją Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego zostały dopuszczone do pracy w podziemiach kopalń rudy miedzi. W 2020 r. w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG w Gliwicach zbudowano 12 egzemplarzy drugiego wykonania zespołu zasilania bateryjnego [4]. Od lutego 2021 roku wozy strzelnicze z nowym wykonaniem zespołu zasilania bateryjnego sukcesywnie wprowadzane zostały do pracy w kopalniach rudy miedzi, gdzie są eksploatowane do dnia dzisiejszego, uzyskując również się bardzo dobrą opinię użytkowników. Zastosowanie wewnętrznej ładowarki elektrycznej pozwala na ładowanie baterii akumulatorów w dowolnym miejscu z sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym 500 V, bez konieczności dojazdu wozu strzelniczego do komory ładowania.



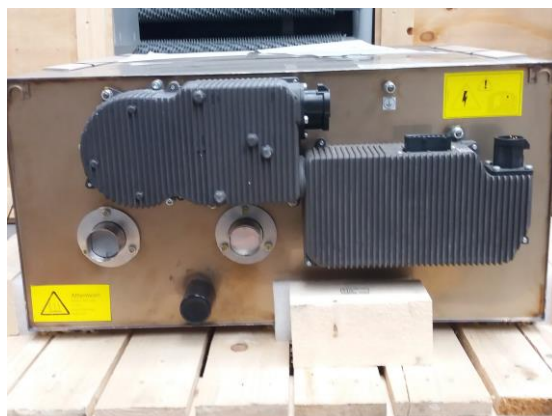
Rys. 6. Wóz strzelniczy produkcji KGHM-Zanam [7]

a) typu WS-153, b) typu WS-173, c) typu WS-173/S

Kolejnym etapem rozwoju zespołu zasilania bateryjnego (wykonanie 3) (rys. 7) jest zastosowanie baterii sodowo-niklowych (rys. 8). Rozwiązanie to zostało wdrożone w 2023 roku w samojezdnych wozach strzelniczych typu SWS-1700ENB produkowanych przez firmę Lena Wilków Sp. z o.o. (rys. 9). Sterowanie zespołem zasilania odbywa się z poziomego panelu sterującego, zainstalowanego w kabinie operatora wozu. W tej samej kabinie umieszczono również złącza diagnostyczne, służące do celów serwisowych. Wykonanie 3 umożliwia zasilanie silnika elektrycznego o mocy 22 kW i napięciu 400 V. Ładowanie baterii odbywa się z kopalnianej sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym 500 V lub 1000 V. Wybór napięcia ładowania odbywa się automatycznie – nie wymaga manualnych przełączy elektrycznych. Zastosowano dwa osobne przewody: jeden dedykowany napięciu 500 V, drugi – 1000 V. Dzięki odpowiedniemu kodowaniu przewodów, system sterowania samodzielnie rozpoznaje, do której sieci został podłączony. Dodatkowo, w trakcie jazdy wozu możliwe jest doładowywanie baterii z pokładowego generatora elektrycznego o mocy 6 kW. Parametry techniczne zespołu zasilania bateryjnego (wykonanie 3) przedstawiono w tabeli 1 (kolumna 4).



Rys. 7. Zespół zasilania bateryjnego (wykonanie 3) [5]



Rys. 8. Bateria sodowo-niklowa [materiały własne]



Rys. 9. Wóz strzelniczy SWS-1700ENB produkcji LENA-Wilków [8]

Panel sterowania zapewnia zarówno tekstową, jak i graficzną sygnalizację alarmową oraz umożliwia monitorowanie przebiegu kluczowych procesów — pracy silnika elektrycznego, ładowania baterii z sieci oraz z generatora. Wszystko to prezentowane jest w formie ekranu synoptycznego oraz zestawień parametrów roboczych. W panelu zaimplementowano program zarządzający pracą zespołu zasilania. Natomiast w samym zespole zasilania bateryjnego zainstalowano programowalny sterownik, dedykowany do aplikacji mobilnych. Pełni on rolę modułu wejść/wyjść i umożliwia sterowanie urządzeniami wewnętrznymi systemu. Komunikacja pomiędzy panelem sterowania, sterownikiem, systemem MBS (nadzorującym pracę baterii), falownikiem oraz ładowarką odbywa się za pośrednictwem magistrali CAN. Magistrala ta wykorzystywana jest również do przesyłania danych do wyświetlacza parametrów, zainstalowanego bezpośrednio w zespole zasilania. Wyświetlacz ten posiada funkcjonalność zbliżoną do panelu operatorskiego, a jego lokalizacja w samym zespole znacząco usprawnia obsługę serwisową.

W Wykonaniu 3 zespołu zasilania bateryjnego zastosowano baterie serii Z60 o napięciu znamionowym 650 V i pojemności 38 Ah. Są to baterie wysokotemperaturowe, których ogniwa zostały termicznie odizolowane od obudowy i umieszczone w komorze z utrzymywaną wewnątrz próżnią. Na zewnątrz obudowy każdej baterii znajduje się moduł elektroniczny BMI, pełniący funkcje kontrolno-sterujące. Seria Z60 została zaprojektowana z myślą o aplikacjach mobilnych, dlatego zastosowano w niej szczelne, odporne na wstrząsy złącza, a komunikacja z elektroniką baterii odbywa się za pomocą magistrali CAN. System sterowania baterii umożliwia również pomiar rezystancji izolacji elektrycznej, a w przypadku wykrycia zagrożenia — automatycznie odłącza zaciski baterii od obciążenia po zaniku zasilania linii EMERGENCY. Bateria może być wyposażona w opcjonalny układ chłodzenia powietrznego, który pozwala na odprowadzenie nadmiaru ciepła po intensywnej eksploatacji. W tym przypadku zrezygnowano jednak z tego rozwiązania ze względu na stosunkowo niskie obciążenie oraz przerywany charakter pracy tych jednostek.

Funkcjonalność modułu BMI obejmuje sterowanie wbudowanymi stycznikami, zarządzanie obwodami rozgrzewania baterii, pomiar rezystancji izolacji oraz funkcje komunikacyjne i pomiarowe (w tym pomiar napięcia, prądu, temperatury baterii oraz obliczanie SOC). Dodatkowo, BMI wyposażono w układ łagodnego startu („precharge”), który ogranicza prąd rozruchowy baterii, oraz w funkcje autodiagnostyki. W razie potrzeby moduł zgłasza błędy na czterech poziomach istotności, które mają różny wpływ na działanie baterii – od poziomu informacyjnego po natychmiastowe odłączenie baterii od instalacji wozu strzelniczego [6].

Bateria wyposażona jest w dwie grzałki. Pierwsza, o mocy 750 W, zasilana jest z sieci 230V AC (50/60 Hz) i służy do rozgrzewania baterii, także podczas ładowania. Czas potrzebny na rozgrzanie baterii z temperatury tzw zimnej do temperatury umożliwiającej ładowanie i pracę wynosi

standardowo do 24 godzin. Druga grzałka, o mniejszej mocy 200 W, zasilana napięciem DC z baterii, służy do utrzymania temperatury baterii.

W pojazdach pracujących w kopalniach podziemnych konieczne jest zainstalowanie transformatora, który dostarcza napięcie 230 V (zasilanie z 500 V lub 1000 V). Wiąże się to z koniecznością wygospodarowania dodatkowego miejsca na transformator oraz jego osprzęt (stycznik, bezpiecznik itp.). Warto także zauważyć, że nie w każdej lokalizacji ładowania dostępne jest zasilanie 230 V, które można wykorzystać. Ponadto, wymagałoby to podłączenia dodatkowego przewodu i obecności dodatkowego gniazda.

Ładowanie baterii jest procesem długotrwałym, który składa się z dwóch głównych faz. Pierwsza to faza ładowania stałym prądem o natężeniu 10 A (faza CC), która następnie przechodzi w fazę ładowania przy stałym napięciu wynoszącym $672,8 \text{ V} \pm 1 \text{ V}$ (faza CV). Proces ładowania kończy się, gdy prąd spadnie poniżej wartości 0,5 A przez ustalony czas. Podczas procesu ładowania występuje przerwa zarządzana przez moduł BMI, typowo przy osiągnięciu poziomu SOC = 80%. Przerwa ta trwa od 25 do 30 minut i jest niezbędna do przeprowadzenia wewnętrznego testu OCV (napięcia otwartego obwodu). W tym czasie mierzone jest napięcie spoczynkowe baterii oraz skuteczność grzania za pomocą wbudowanej grzałki DC. Zaleca się pełne naładowanie baterii (osiągnięcie stanu EOC) w każdym cyklu ładowania, a także co 24 godziny, w trakcie użytkowania baterii. Jeśli bateria pozostaje nieładowana przez 36 godzin od osiągnięcia ostatniego stanu EOC, generowane jest ostrzeżenie, a po kolejnych 24 godzinach pojawia się ponaglenie do przeprowadzenia pełnego procesu ładowania. Po tym okresie, aby zapobiec dalszemu rozładowaniu, uruchamiane są ograniczenia prądu rozładowania, a w ostateczności następuje blokada rozładowania, która zostaje zdjęta dopiero po przeprowadzeniu pełnego ładowania do stanu EOC.

Zalecany czas rozładowania baterii wynosi minimum 2 godziny. Chwilowe rozładowania o wyższej mocy są dopuszczalne, pod warunkiem, że całkowity czas rozładowania nie będzie krótszy niż 2 godziny. W takich przypadkach należy uwzględnić wzrost temperatury wewnętrznej baterii oraz w razie potrzeby, zastosowanie układu chłodzenia. Dla pojedynczej baterii o pojemności 38 Ah dopuszczalny chwilowy prąd rozładowania wynosi 85 A, co odpowiada chwilowej mocy przekraczającej 50 kW. Moc ciągła, która zapewnia rozładowanie w ciągu 2 godzin, wynosi około 12 kW (zależnie od napięcia baterii). Prąd powodujący błąd w systemie i generujący komunikat o zwarcu to 270 A.

Do magistrali B-CAN można również podłączyć komputer diagnostyczny z oprogramowaniem ZEBRA Monitor. Program ten służy do monitorowania stanu baterii, odczytu bieżących informacji diagnostycznych, analizy danych historycznych oraz resetowania błędów. Umożliwia również

rejestrację danych w czasie rzeczywistym, co jest pomocne przy analizie anomalii. S. Protokół wymiany danych na magistrali B-CAN jest niejawnym i nieudostępniany użytkownikowi.

Samojezdne wozy strzelnicze SWS-1700ENB z zespołem zasilania bateryjnego (wykonanie 3) z początkiem 2023 roku zostały wdrożone w podziemnych wyrobiskach KGHM Polska Miedź S.A. Zakładu Górniczego Rudna w liczbie 11 sztuk.



Rys. 10. Platynowy medal

Samojezdny wóz strzelniczy SWS-1700ENB z zespołem zasilania bateryjnego został nagrodzony platynowym medalem (rys. 10) podczas 17. Międzynarodowych Targów Wynałazków i Innowacji INTARG 2024, które odbyły się 21-23 maja 2024 r. w Międzynarodowym Centrum Kongresowym w Katowicach.

Wszystkie przedstawione wykonania w rozdziale zespoły zasilania bateryjnego poddano badaniom akredytacyjnym w Laboratorium Badań Stosowanych Instytutu KOMAG. Badania przeprowadzono zgodnie z zaleceniami obowiązujących norm i procedur badawczych. Każde wykonanie poddano badaniom typu oraz wyrobu, które obejmowało:

- badanie stopnia ochrony, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 60529:2003+A2:2014-07,
- test klimatyczny Bd (suche gorąco), zgodnie z normą PN-EN 60068-2-2:2009 oraz PN-G-50003:2003,
- test klimatyczny wilgotne gorąco stałe, zgodnie z wewnętrzną procedurą badawczą Laboratorium Badań Stosowanych ITG KOMAG,
- pomiary rezystancji izolacji, zgodnie z normą PN-G-50003:2003,
- pomiary wytrzymałości elektrycznej izolacji, zgodnie z normą PN-G-50003:2003,
- pomiary odstępów izolacyjnych, zgodnie z normą PN-G-50003:2003,

- kompatybilność elektromagnetyczna (EMC), zgodnie z normą PN-EN IEC 61000-6-2: 2019-04 oraz PN-EN IEC 61000-6-4:2019-12,
- testy funkcjonalne według wewnętrznej procedury ITG KOMAG.

Zespoły zasilania bateryjnego są eksploatowane w bardzo trudnych warunkach środowiskowych, gdzie temperatura otoczenia dochodzi do 55°C, a wilgotność powietrza do 98%. Duża agresywność wody kopalnianej oraz zapylenie pyłem kaniennym negatywnie wpływa na stan obudowy urządzeń. Ponadto cały układ elektryczny narażony jest na wstrząsy oraz uderzenia i udary mechaniczne podczas jazdy wozu strzelniczego.

4. Podsumowanie

Przedstawione w pracy zespoły zasilania bateryjnego do samojezdných wozów strzelniczych mogą być stosowane w podziemnych, niemietanowych zakładach górniczych, wydobywających rudy metali i zakładach górniczych wydobywających inne kopaliny.

Rozwiązania przedstawione w niniejszym rozdziale cechują efekty proekonomiczne jak również efekty zwiększające bezpieczeństwo m.in.:

- zwiększenie efektywności pracy wozu strzelniczego, w stosunku do dotychczasowych rozwiązań z zasilaniem przewodowym, poprzez skrócenie czasu operacji ładowania materiału wybuchowego do otworów strzałowych,
- zapewnienie pracy wozu do 3 zmian roboczych po jednym naładowaniu baterii (zaaplikowanie ponad 2 ton ładunku wybuchowego we wcześniej wykonanych otworach strzałowych),
- zwiększenie mobilności wozu podczas operacji ładowania materiału wybuchowego do otworów strzałowych – w przypadku nagłego zagrożenia, maszyna może być natychmiast wycofana z przodka,
- zwiększenie bezpieczeństwa prac poprzez wyeliminowanie wykonywanych prac poza kabiną związanych z rozwinięciem i zwinięciem kabla zasilającego,
- ograniczenie emisji spalin oraz hałasu przodkach,
- możliwość ładowania baterii z kopalnianej sieci elektrycznej o napięciu znamionowym 500 V lub 1000 V (różne rejony kopalni),
- funkcjonalny interfejs dla operatora wozu z pełnym, bieżącym monitoringiem parametrów pracy baterii, w każdym stanie jej pracy.

We wszystkich wcześniejszych rozwiązaniach wozów strzelniczych stosowano zasilanie z przewodem elektrycznym bądź silnikiem spalinowym. Rozwijanie przewodu elektrycznego w przodku jest trudne i czasochłonne, stwarza zagrożenie obwałami skał, stąd operatorzy wybierają czasami zasilanie z silnika spalinowego pomimo uciążliwości związanej ze spalinami i pogorszeniem mikroklimatu oraz komfortu pracy.

Przedstawione w rozdziale alternatywne rozwiązania zespołów zasilania bateryjnego znacząco poprawiają stopień bezpieczeństwa i komfort pracy operatora oraz górników strzałowych.

Literatura

1. Marcinowicz I., Górniak J.: Rozwój wozów strzelniczych – pracować bezpieczniej i szybciej. Napędy Sterowanie 2019 nr 7/8 s. 64-67.
2. Deja P., Okrent K., Polnik B.: Zastosowanie ogniw litowych do zasilania urządzeń technologicznych w górniczych wozach strzelniczych. Maszyny Górnicze 2019 nr 3 s. 42-49.
3. Deja P., Okrent K., Polnik B.: Akumulatorowy zespół zasilający samojezdnego wozu strzelniczego. Maszyny Elektryczne, Zeszyty Problemowe 2019 nr 122 s. 9-13.
4. Deja P., Skóra M., Hylla P.: ZZB battery supply unit for the self-propelled SWS-1700ENB blast truck, Mining Machines 2024 nr 4 s. 249-263.
5. Deja P., Hylla P., Polnik P., Skóra M., Niedworok A. Nowe rozwiązanie akumulatorowego układu zasilającego dla samojezdných wozów strzelniczych. Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice. - 2021, s. 82-88.
6. FZSONICK SA. (2023). 202302_UM-Zebra Battery Handbook EN FZS_Rev2.3. FZSONICK SA. Available at: <http://www.FZSONICK.com>
7. <http://www.kghmzanam.com> (dostęp: 03.04.2025).
8. <https://lena.com.pl/> (dostęp: 03.04.2025).