

Przemysław Deja¹, Dariusz Kapuściński², Andrzej Niedworok¹, Bartosz Polnik¹
¹Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice, ²HYDROTECH S.A, Rybnik

BADANIA INNOWACYJNEGO UKŁADU ZASILAJĄCO-STERUJĄCEGO SPĄGÓŁADOWARKI GÓRNICZEJ

TESTS OF THE INNOVATIVE POWER SUPPLY AND CONTROL SYSTEM OF THE ROADHEADING MINING MACHINE

Streszczenie: W artykule omówione zostały badania laboratoryjne innowacyjnego układu zasilająco-sterującego spągóładowarki górniczej, opracowanego w ramach realizacji projektu o akronimie HYDKOM 75 współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Badania miały na celu zweryfikowanie przyjętych założeń technicznych oraz funkcjonalności opracowanego rozwiązania z uwzględnieniem możliwości zastosowania przedmiotowego układu zasilająco-sterującego w przestrzeniach potencjalnie zagrożonych wybuchem. Innowacyjny układ zasilająco-sterujący spągóładowarki górniczej został opracowany i zbudowany w oparciu o baterię ogniw litowych, zwiększającą mobilność przedmiotowego rozwiązania. Ponadto po rozładowaniu baterii układ zasilająco-sterujący umożliwia pracę spągóładowarki przy zasilaniu przewodowym z sieci kopalnianej, kiedy to następuje proces ładowania baterii ogniw. Dzięki takiemu rozwiązaniu, górnicza spągóładowarka może być eksploatowana praktycznie bez przerwy.

Abstract: The article discusses laboratory tests of an innovative power supply and control system for a road-heading mining machine, developed as part of the project on the acronym HYDKOM 75 co-financed by the National Center for Research and Development. The research was aimed at verifying the adopted technical assumptions and functionality of the developed solution, taking into account the possibility of using the power and control system in potentially explosive atmospheres. The innovative power supply and control system of the road-heading mining machine was developed and built based on the battery of lithium cells, increasing the mobility of the solution in question. In addition, after the battery has been discharged, the power supply and control system allows the charger to operate on the line power from the mine network, when the battery cells are being charged. Thanks to such a solution, the mining machine can be operated practically without interruption.

Słowa kluczowe: *górnictwo, maszyny elektryczne, zasilanie akumulatorowe, badania, bezpieczeństwo*
Keywords: *mining industry, electric machines, battery power supply system, tests, safety*

1. Wstęp

W polskim górnictwie węglowym do pobierki spągu oraz wszędzie tam, gdzie wymagane jest usunięcie pozostawionych po odstrzeleniu fragmentów skały płonnej i węgla z ociosów oraz stropu stosowane są maszyny pomocnicze zwane spągóładowarkami [1, 2, 5, 6]. Maszyny te służą również do podciągania materiałów typu: rury, pręty, szyny itp. w różnych miejscach przebudów infrastruktury kopalnianej [3]. Są maszynami samobieżnymi na podwoziu gąsiennicowym, o napędzie elektrohydraulicznym (rys. 1). Wadą stosowanych rozwiązań jest ograniczona mobilność oraz narażenie kabla zasilającego na uszkodzenia mechaniczne. Innowacyjne rozwiązanie spągóładowarki ograniczające ww. problem jest realizowane w ramach projektu pt. "Innowacyjna maszyna mobilna z uniwersalnym układem napędu elektrycznego, podwyższającym poziom bezpie-

czeństwa technicznego" HYDKOM 75 w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020. Projekt realizowany w ramach konsorcjum (jednostka naukowo-badawcza – Instytut Techniki Górniczej KOMAG jako lider i partner przemysłowy – HYDROTECH S.A.). Celem projektu jest zaprojektowanie, wykonanie oraz przebadanie ww. maszyny górniczej.

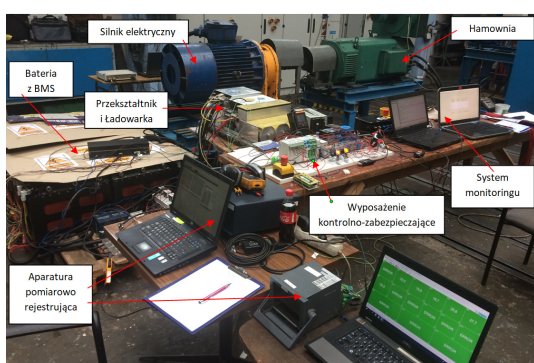


Rys. 1. Spągóładowarka typu BH 3000 [4]

Maszyna dostosowana będzie do prac związanych z utrzymaniem właściwego stanu spągu w wyrobiskach górniczych potencjalnie zagrożonych wybuchem metanu lub/i pyłu węglowego. W artykule omówiono realizację wybranych badań układu zasilająco-sterującego przedmiotowej maszyny górniczej. Przeprowadzone badania dotyczyły możliwości jego bezpiecznego stosowania w przestrzeniach potencjalnie zagrożonych wybuchem. Zostały podzielone na dwa etapy: wyposażenie elektryczne, wyposażenie mechaniczne.

2. Obiekt i miejsce badań

Obiektem badań był układ zasilająco-sterujący górniczej spągoadowarki opracowany i wykonany w ramach realizacji projektu HYDKOM 75. Układ ten składał się z wyposażenia elektrycznego (rys. 2), w skład którego wchodziły między innymi takie elementy jak: bateria ogniw z BMS, przekształtnik energoelektroniczny, ładowarka, elementy elektryczne i Elektroniczne odpowiedzialne za kontrolę i zabezpieczenie itp. Wyposażenie elektryczne zostało zestawione na stanowisku hamowni w laboratorium badań stosowanych w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG. Hamownia była sprzęgnięta z górniczym silnikiem elektrycznym trójfazowym, który odpowiadał parametrami elektrycznymi docelowemu silnikowi napędowemu spągoadowarki. Silnik elektryczny był zasilany z baterii ogniw litowych za pośrednictwem przekształtnika energoelektronicznego.



Rys. 2. Wyposażenie elektryczne układu zasilająco-sterującego na stanowisku badawczym [7]

Poprzez odpowiednie wysterowanie stanowiska hamowni, możliwym było przebadanie układu zasilająco-sterującego w szerokim zakresie zmiany obciążenia silnika elektrycznego – warunki symulujące rzeczywisty zakres pracy spągoadowarki. Nieodzownym elementem układu

zasilająco-sterującego jest jego obudowa w wykonaniu przeciwwybuchowym (rys. 3). Również i ona została poddana szeregowi badań dotyczących możliwości jej bezpiecznego zastosowania w przestrzeniach potencjalnie zagrożonych wybuchem.



Rys. 3. Oslona przeciwwybuchowa układu zasilająco-sterującego [7]

3. Cel i zakres badań

3.1. Cel badań

Celem badań laboratoryjnych było zweryfikowanie założeń konstrukcyjnych oraz funkcjonalnych opracowanego układu zasilająco-sterującego górniczej spągoadowarki oraz zweryfikowanie możliwości jego bezpiecznego zastosowania w podziemiach potencjalnie zagrożonych wybuchem. Wyniki z przeprowadzonych badań, zostały skonsultowane z wybraną jednostką certyfikującą przewidzianą do przeprowadzenia procesu certyfikacji nowo opracowanej maszyny górniczej.

3.2. Zakres badań

Zakres badań obejmował szereg prób dotyczących bezpieczeństwa stosowania układu zasilająco-sterującego w przestrzeniach zagrożonych wybuchem oraz uzyskania założonych parametrów technicznych i funkcjonalnych. Obudowy przeciwwybuchowe wyposażenia elektrycznego zostały poddane między innymi badaniami:

- wytrzymałości mechanicznej,
- stopnia ochrony IP 54,
- złącz ognioszczelnych,
- ciśnienia odniesienia,
- próby naciśnienia,
- przeniesienia się wybuchu.

Zaś w zakresie wyposażenia elektrycznego zbadano między innymi:

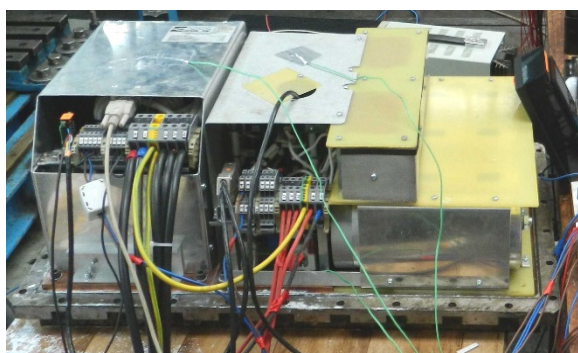
- poprawność działania systemu BMS,
- poprawność działania systemu kontrolno-zabezpieczającego,
- poprawność działania układu sterowania,

- poprawność realizacji procesu ładowania i rozładowania baterii.

4. Przebieg i wyniki badań

4.1. Badanie wyposażenia elektrycznego

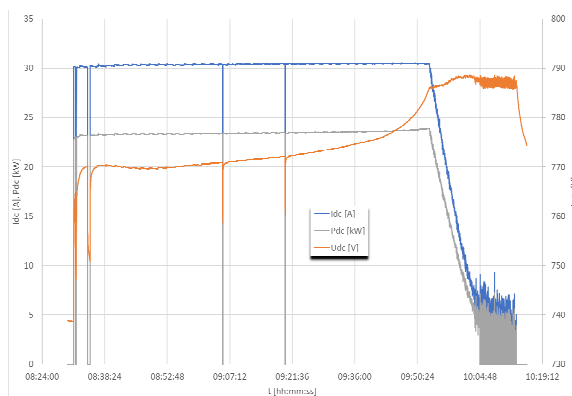
Innowacyjny układ zasilająco-sterujący przeznaczony dla spągładowarki górniczej poddano badaniom funkcjonalnym, które obejmowały cykle ładowania baterii (prąd ładowania 30 A) oraz cykle rozładowania (praca silnika przy prądzie fazowym równym 75 A). Podczas cykli ładowania i rozładowania dokonywano pomiaru temperatur w wybranych miejscach radiatora, na którym zainstalowany był przekształtnik wraz z ładowarką (rys. 4).



Rys. 4. Przekształtnik oraz ładowarka zamocowane na radiatorze [7]

Proces ładowania baterii

Proces ładowania baterii realizowany był przy użyciu dedykowanej ładowarki zasilanej z trójfazowej sieci elektrycznej o wartości napięcia 3 x 500 V AC. Ładowarka dostarczała do baterii prąd stały o natężeniu 30 A. Proces ładowania (rys. 5) był kontrolowany przez sterownik nadrzędny, komunikujący się z ładowarką oraz systemem nadzoru baterii ogniwo (BMS) za pomocą magistrali CAN. Dla przeprowadzonych prób, proces ładowania kończył się, kiedy napięcie na pojedynczym ogniwie baterii osiągnęło wartość maksymalną 3,65 V. Na rys. 5 przedstawiono przykładowy przebieg napięcia U_{dc} , prądu I_{dc} oraz mocy P_{dc} w obwodzie DC baterii zarejestrowany podczas procesu ładowania. Przedstawiony proces ładowania zakończył się automatycznie, na skutek osiągnięcia maksymalnej wartości napięcia pojedynczego ogniwa (3,65 V DC).

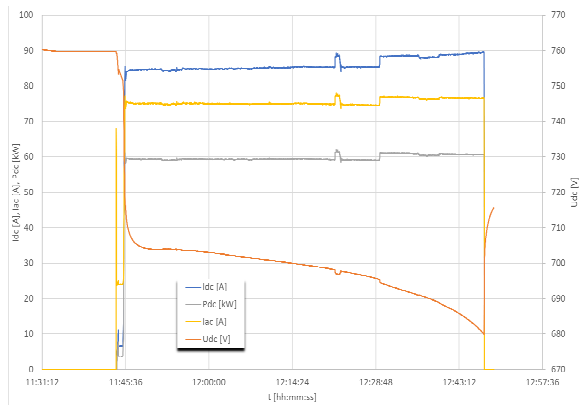


Rys. 5. Przebiegi czasowe wybranych wielkości elektrycznych podczas procesu ładowania [7]

Podczas procesu ładowania, na płycie miedzianej ładowarki zarejestrowano maksymalną wartość temperatury 33,6 °C, Temperatura otoczenia podczas badań wynosiła 17,8 °C.

Proces rozładowania baterii

Proces rozładowania baterii wykonano przy użyciu dedykowanego przemiennika częstotliwości. Przemiennik zasiliał elektryczny silnik indukcyjny zainstalowany na stanowisku hamowni, tak aby wymusić prąd fazowy o natężeniu ok. 75 A (znamionowa wartość prądu przemiennika). Podczas badań utrzymywano stałą wartość prędkości obrotowej silnika (wynikającą z zadanej częstotliwości przez przemiennik 50 Hz) oraz moment obrotowy, skutkujący utrzymywaniem założonego natężenia prądu fazowego ~75 A. Proces rozładowania rozpoczęto po wcześniejszym naładowaniu baterii. Praca przemiennika oraz baterii (systemu BMS) była kontrolowana przez sterownik nadrzędny. Dla przeprowadzonych prób, proces ładowania kończył się, kiedy napięcie na pojedynczym ogniwie baterii osiągnęło wartości minimalną, tj. 2,65 V. Na rys. 6 przedstawiono przebieg napięcia U_{dc} , prądu I_{dc} oraz mocy P_{dc} w obwodzie DC baterii zarejestrowany podczas przykładowego procesu rozładowania baterii (praca). Przedstawiony proces rozładowania zakończył się automatycznie, na skutek osiągnięcia wartości minimalnej napięcia pojedynczego ogniwa (2,65 V).



Rys. 6. Przebiegi czasowe wybranych wielkości elektrycznych podczas rozładowania baterii [7]

Podczas procesu rozładowania, na płycie miedzianej przekształtnika zarejestrowano maksymalną wartość temperatury $24,5^{\circ}\text{C}$. Temperatura otoczenia podczas badań wynosiła $18,4^{\circ}\text{C}$.

4.2. Badanie osłony przeciwybuchowej

Przedmiotem badań była dwukomorowa osłona ognioszczelna układu zasilająco-sterującego (rys. 3). Podczas badań, badane komory zostały wypełnione elementami symulującymi elementy docelowego wyposażenia komór (rys. 7). Podczas badań ciśnienia odniesienia oraz wytrzymałości na ciśnienie skrzynie były wyposażone w uszczelki. Podczas badań nieprzenoszenia się wybuchu wszystkie uszczelnienia zostały zdemontowane.



Rys. 7. Widok wypełnienia wnętrza komory skrzyni akumulatorowej [7]

Określenie ciśnienia odniesienia

Badanie przeprowadzono zgodnie z punktem 15.2.2.2 oraz normy PN-EN 60079-1:2014-12. Badania polegało na pomiarze ciśnienia wywołanego wybuchem mieszaniny metanu z powietrzem ($9,8 \pm 0,5\%$). Wyniki prób zestawiono w tabeli 1. Jako wynik ostateczny przyjmuje się największą zmierzoną wartość. W trakcie bada-

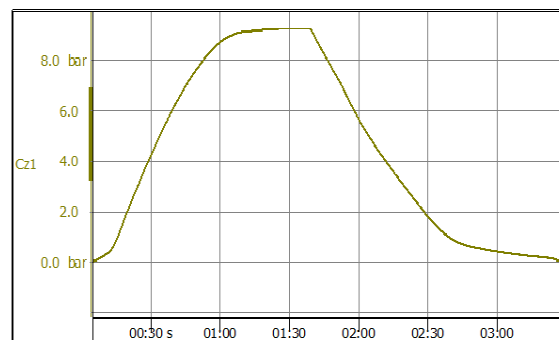
nia obudowa posiadała wypełnienie zgodne z rys. 7.

Tabela 1. Wyniki pomiaru określenia ciśnienia odniesienia

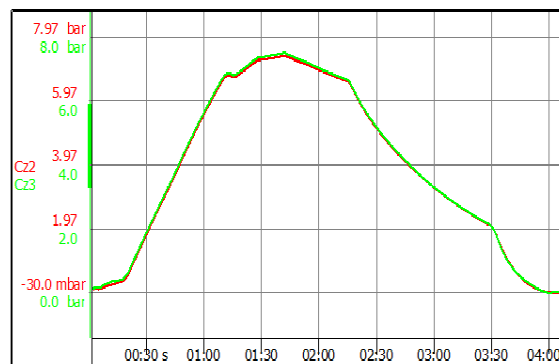
Lp.	Oznaczenie komory poddawanej próbie	Nr próby	Ciśnienie [bar]		
			Cz1	Cz2	Cz3
1	Komora akumulatorów	1	4,65	6,03	-
2		2	5,93	4,49	-
3		3	3,98	5,55	-
4	Komora sterująca	1	-	4,40	4,54
5		2	-	4,53	4,64
6		3	-	4,28	4,40

Próba nadciśnienia

Badanie przeprowadzono zgodnie z punktem 15.2.3 normy PN-EN 60079-1:2014-12. Próba polegała na wywołaniu wewnątrz badanej komory ciśnienia wynoszącego 1,5-krotną wartość ciśnienia odniesienia. Badanie przeprowadzono metodą statyczną. Przebieg ciśnienia z przeprowadzonej próby przedstawiono na rys. 8 i 9.



Rys. 8. Przebieg ciśnienia podczas próby nadciśnienia dla skrzyni akumulatorów [7]



Rys. 9. Przebieg ciśnienia podczas próby nadciśnienia dla skrzyni sterującej [7]

Po przeprowadzeniu próby nadciśnienia nie stwierdzono trwałego powiększenia prześwitów złącz ognioszczelnych ani uszkodzeń naruszających budowę przeciwybuchową dla żadnej ze skrzyń. Dla skrzyni akumulatorów stwierdzono trwałe odkształcenie (wybrzuszenie) przednich pokryw (drzwi). Zmierzone odkształcenie w największym punkcie wynosiło dla prawych i lewych pokryw odpowiednio 1,5 i 3,0 mm. W związku z powyższym koniecznym było przeprowadzenie mechanicznej modyfikacji w/w pokryw.

Próba nie przenoszenia się wewnętrznego wybuchu

Próby zostały wykonane zgodnie z punktem 15.3.2. normy PN-EN 60079-1:2014-12 z wykorzystaniem $(12,5 \pm 0,5) \%$ mieszaniny wodór metan $[(58 \pm 1) \%$ metan i $(42 \pm 1) \%$ wodór] z powietrzem. Prześwity oraz długości złącz ognioszczelnych zostały przygotowane przed przystąpieniem do badań zgodnie z wymaganiami normy. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki badania próby nie przenoszenia się wewnętrznego wybuchu

Lp.	Oznaczenie komory poddawanej próbie	Liczba prób	Liczba przeniesień
1	Komora akumulatorów	10	0
2	Komora sterująca	5	0

5. Podsumowanie

W artykule omówiono wybrane badania układu zasilająco-sterującego innowacyjnej spągłodowarki górniczej. Badania dotyczyły wyposażenia elektrycznego oraz mechanicznego (obudowy przeciwybuchowej). Przedstawiono zakres badań, obiekt badań oraz stanowisko badawcze. Omówiono kolejno przebieg poszczególnych prób oraz uzyskane wyniki z prób. W wyniku przeprowadzonych badań, potwierdzone zostały założenia projektowo-konstrukcyjne dotyczące parametrów technicznych i funkcjonalnych.



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Ewentualne nieprawidłowości, jakie zostały wychwycone w toku realizacji badań były na bieżąco weryfikowane i usuwane. W ramach dalszych prac w projekcie HYDKOM 75, przeprowadzone zostaną badania funkcjonalne prototypu spągłodowarki górniczej w warunkach odpowiadających rzeczywistej eksploatacji maszyny górniczej.

6. Literatura

- [1]. M. Kalita "Spągłodowarka górnicza jako wielofunkcyjna maszyna robocza z podwoziem gasieniowym o szerokości 1000 mm", *Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych*, TUR 2011, str. 270 -278, 2011.
- [2]. A. Klich "Maszyny i urządzenia dla inżynierii budownictwa podziemnego", *Praca zbiorowa* Katowice 1999.
- [3]. D. Kapuściński, B. Polnik „Innowacyjny układ zasilająco-sterujący spągłodowarki górniczej”, *Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe Nr 2/2018* (118).
- [4]. B. Polnik „Uniwersalny układ napędu elektrycznego podwyższający poziom bezpieczeństwa technicznego maszyn górniczych”, *ElektroInfo* Nr 7-8 / 2018.
- [5]. H. Przybyła, A. Chmiela "Technika i organizacja w robotach przygotowawczych", *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice 2002.
- [6]. E. Remiorz "Wyznaczenie masy krytycznej urobku e czerpaku ładowarki do pobierki spągu", *Archiv of Mining*, nr 3, str. 531 -543, 2017.
- [7]. Sprawozdanie z projektu nr POIR.04.01.02-00-0102/16. rok 2018 – materiały niepublikowane.

Autorzy

mgr inż. Przemysław Deja
pdeja@komag.eu
mgr inż. Jerzy Górniak
jerzy.gorniak@kghmzanam.com
dr inż. Andrzej Niedworok
aniedworok@komag.eu
dr inż. Bartosz Polnik
bpolnik@komag.eu