

# Badania innowacyjnego układu zasilająco-sterującego spągłodowarki górniczej

Przemysław Deja, Dariusz Kapuściński, Andrzej Niedworok, Bartosz Polnik

## 1. Wstęp

W polskim górnictwie węglowym do pobierki spągu oraz wszędzie tam, gdzie wymagane jest usunięcie pozostawionych po odstrzeleniu fragmentów skały pływnej i węgla z ociosów oraz stropu, stosowane są maszyny pomocnicze zwane spągłodowarkami [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 samobieźnymi na podwoziu gąsienicowym, o napędzie elektrohydraulicznym (rys. 1). Wadą stosowanych rozwiązań jest ograniczona mobilność oraz narażenie kabla zasilającego na uszkodzenia mechaniczne. Innowacyjne rozwiązanie spągłodowarki, ograniczające ww. problem, jest realizowane w ramach projektu pt. „Innowacyjna maszyna mobilna z uniwersalnym układem napędu elektrycznego, podwyższającym poziom bezpieczeństwa 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 SA). Celem projektu jest zaprojektowanie, wykonanie oraz przebadanie ww. maszyny górniczej.

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.



Rys. 1. Spągłodowarka typu BH 3000 [4]

**Streszczenie:** W artykule omówione zostały badania laboratoryjne innowacyjnego układu zasilająco-sterującego spągłodowarki 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 spągłodowarki górniczej został opracowany i zbudowany w oparciu o baterię ogniw litowych, zwiększającą mobilność przedmiotowego rozwiązania. Ponadto po rozładowaniu baterii układ zasilająco-sterujący umożliwia pracę spągłodowarki przy zasilaniu przewodowym z sieci kopalnianej, kiedy to następuje proces ładowania baterii ogniw. Dzięki takiemu rozwiązaniu górnicza spągłodowarka może być eksploatowana praktycznie bez przerwy.

Słowa kluczowe: górnictwo, maszyny elektryczne, zasilanie akumulatorowe, badania, bezpieczeństwo

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

**Abstract:** The article discusses laboratory tests of an innovative power supply and control system for a roadheading 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 roadheading 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.

Keywords: mining industry, electric machines, battery power supply system, tests, safety



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

## 2. Obiekt i miejsce badań

Obiektem badań był układ zasilająco-sterujący górniczej spągłodowarki 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 energoelektryczny, 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 górnym silnikiem elektrycznym trójfazowym, który odpowiadał parametrami elektrycznymi docelowemu silnikowi napędowemu spągłodowarki. Silnik elektryczny był zasilany z baterii ogniw litowych za pośrednictwem przekształtnika energoelektrycznego.

Dzięki odpowiedniemu wysterowaniu stanowiska hamowni możliwym było przebadanie układu zasilająco-sterującego w szerokim zakresie zmiany obciążenia silnika elektrycznego – warunki symulujące rzeczywisty zakres pracy spągłodowarki. 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.

## 3. Cel i zakres badań

### 3.1. Cel badań

Celem badań laboratoryjnych było zweryfikowanie założeń konstrukcyjnych oraz funkcjonalnych opracowanego układu zasilająco-sterującego górniczej spągłodowarki 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 badaniom:

- wytrzymałości mechanicznej na;
- stopnia ochrony IP54;
- złącz ognioszczelnych;
- ciśnienia odniesienia;
- próby nadciśnienia;
- 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 spągoloadarki 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).

#### Proces ładowania baterii

Proces ładowania baterii realizowany był przy użyciu dedykowanej ładowarki zasilanej z trójfazowej sieci elektrycznej o wartości napięcia  $3 \times 500$  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 ogni (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).

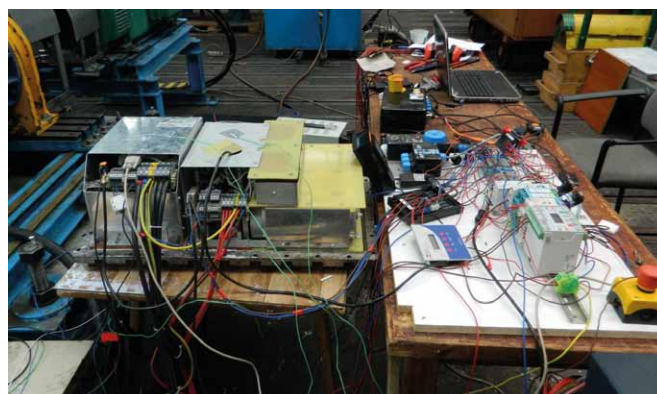
Podczas procesu ładowania na płycie miedzianej ładowarki zarejestrowano maksymalną wartość temperatury 33,6°C. Temperatura otoczenia podczas badań wynosiła 17,8°C.

#### Proces rozładowania baterii

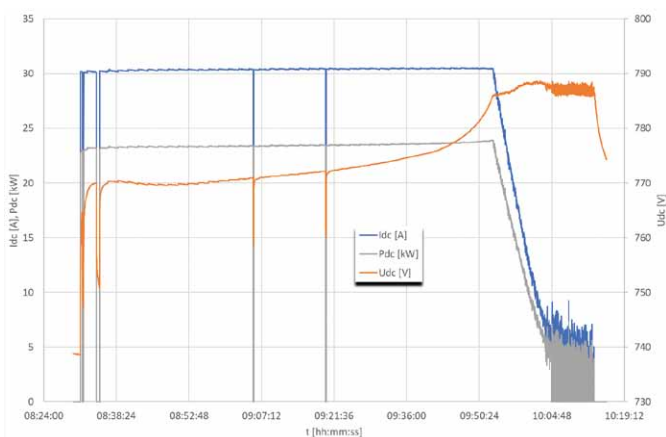
Proces rozładowania baterii wykonano przy użyciu dedykowanego przemiennika częstotliwości. Przemiennek zasiliał elektryczny silnik indukcyjny zainstalowany na stanowisku hamowni, tak aby wymusić prąd fazowy o natężeniu ok. 75 A (znamionowa wartość prądu przemiennika). Podczas badań utrzymywano stałą wartość prędkości obrotowej silnika (wynikającą z zadanej częstotliwości przez przemiennik 50 Hz) oraz moment obrotowy, skutkujący utrzymywaniem założonego natężenia prądu fazowego  $\sim 75$  A. Proces rozładowania



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

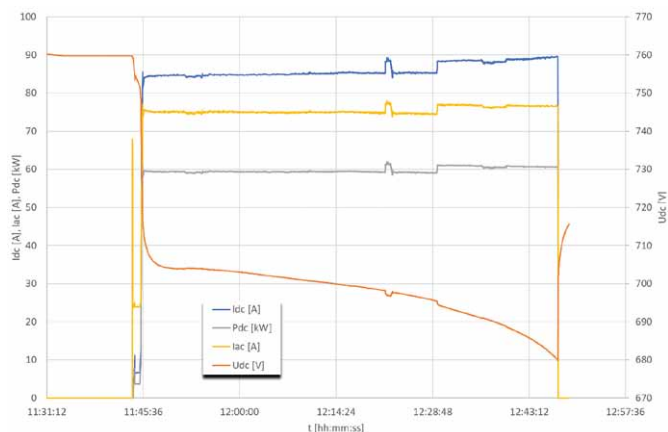


Rys. 4. Przekształtnik oraz ładowarka zamocowane na radiatorze [7]



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

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 minimalnej, tj. 2,65 V. Na rys. 6 przedstawiono wartość 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°C. Temperatura otoczenia podczas badań wynosiła 18,4°C.

#### 4.2. Badanie osłony przeciwwybuchowej

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. Badanie 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 badania obudowa posiadała wypełnienie zgodne z rys. 7.

#### 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 rys. 9.

Po przeprowadzeniu próby nadciśnienia nie stwierdzono trwałego powiększenia prześwitów złącz ognioszczelnych ani

reklama

**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

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 konieczne było przeprowadzenie mechanicznej modyfikacji ww. pokryw.

**Próba nieprzenoszenia się wewnętrznego wybuchu**

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

**5. Podsumowanie**

W artykule omówiono wybrane badania układu zasilająco-sterującego innowacyjnej spągłodawarki 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.

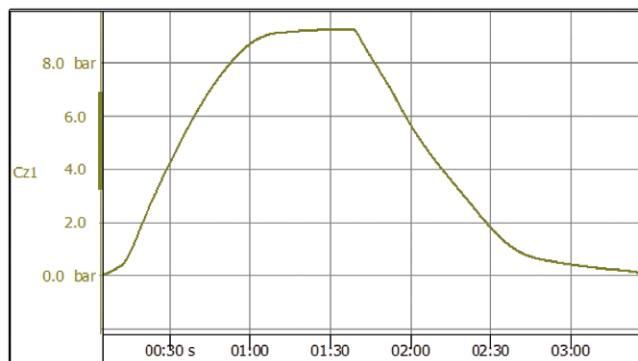
Ewentualne nieprawidłowości, jakie zostały wychwycone w toku realizacji badań, były na bieżąco weryfikowane i usuwane. W ramach dalszych prac w projekcie HYDKOM 75 przeprowadzone zostaną badania funkcjonalne prototypu spągłodawarki górniczej w warunkach odpowiadających rzeczywistej eksploatacji maszyny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

**Literatura**

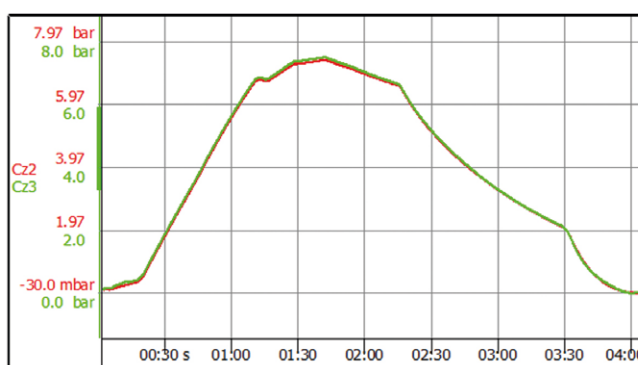
[1] KALITA M.: *Spągłodawarka górnicza jako wielofunkcyjna maszyna robocza z podwoziem gąsienicowym o szerokości 1000 mm.* „Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych”, TUR 2011.

[2] Klich A.: *Maszyny i urządzenia dla inżynierii budownictwa podziemnego.* Praca zbiorowa, Katowice 1999.

[3] KAPUŚCIŃSKI D., POLNIK B.: *Innowacyjny układ zasilająco-sterujący spągłodawarki górniczej.* „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 2(118)/2018.



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



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

**Tabela 2.** Wyniki badania próby nieprzenoszenia się wewnętrznego wybuchu

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

[4] POLNIK B.: *Uniwersalny układ napędu elektrycznego podwyższający poziom bezpieczeństwa technicznego maszyn górniczych.* „ElektroInfo”, 7–8/2018.

[5] PRZYBYŁA H., CHMIELA A.: *Technika i organizacja w robotach przygotowawczych.* Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.

[6] REMIORZ E.: *Wyznaczenie masy krytycznej urobku w czepaku ładowarki do pobierki spągu.* „Archives of Mining”, 3/2017.

[7] Sprawozdanie z projektu nr POIR.04.01.02-00-0102/16. rok 2018 – materiały niepublikowane.

mgr inż. Przemysław Deja, e-mail: pdeja@komag.eu  
 dr inż. Andrzej Niedworok, e-mail: aniedworok@komag.eu  
 dr inż. Bartosz Polnik, e-mail: bpolnik@komag.eu  
 Instytut Techniki Górniczej KOMAG;  
 Dariusz Kapuściński, e-mail: d.kapuscinski@hydrotech.com.pl  
 BHYDROTECH SA

artykuł recenzowany