

## **R E C E N Z J A**

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Kurpiela  
pt.**

**„Wpływ systemu balansowania na trwałość i bezpieczeństwo pracy baterii  
ogniów litowych w wybranych układach zasilania maszyn górniczych”**

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Kurpiela opracowano na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka dr hab. inż. Roberta Króla, prof. uczelni, w oparciu o przekazany zasadniczy tekst rozprawy liczący 123 strony i 2 załączniki.

### **1. Ocena wyboru tematu i zakresu pracy doktorskiej**

Praca doktorska mgr. inż. Wojciecha Kurpiela dotyczy analizy badawczej wpływu systemu balansowania akumulatorów litowo-jonowych, na trwałość i bezpieczeństwo układów zasilania elektrycznego wybranych maszyn górniczych. W podziemnych wyrobiskach kopalń do transportu materiałów, sprzętu i urobku górniczego oraz do przewożenia ludzi, wykorzystywane są lokomotywy oraz ciągniki podwieszane, zarówno spalinowe jak i elektryczne. Silniki pojazdów spalinowych są niestety źródłem dodatkowego zanieczyszczenia atmosfery kopalnianej, co wiąże się z koniecznością efektywnego przewietrzania wyrobisk podziemnych. Natomiast silniki elektryczne wymienionych pojazdów są zasilane kablami elektroenergetycznymi lub z sieci trakcyjnej, bądź z akumulatorów kwasowo-ołowiowych. Przy tym, stosowane powszechnie akumulatory kwasowo-ołowiowe charakteryzuje niska efektywność pracy, związana z długim czasem ich ładowania, znacznymi wymiarami gabarytowymi oraz ich dużym ciężarem.

Istotą zatem zabiegów konstruktorów elektrycznych układów zasilania urządzeń napędowych, zwłaszcza stosowanych w ciągnikach transportowych podwieszanych w kopalniach jest takie projektowanie tych układów, aby możliwie w jak największym stopniu wyeliminować niedoskonałości, użytkowanych obecnie układów zasilania elektrycznego.

Modernizacja układów zasilania napędów elektrycznych w ciągnikach transportowych podwieszanych stosowanych w kopalniach, dotyczy w ogólności, poprawy sprawności

elektrycznej akumulatorów, w tym bezpiecznej ich eksploatacji, zwiększenia trwałości eksploatacyjnej akumulatorów oraz zmniejszenia ich ciężaru.

W pracy rozważono możliwość zastosowania w tego rodzaju ciągnikach, akumulatorów litowo-żelazowo-fosforanowych ( $\text{LiFePO}_4$ ), o dużej sprawności elektrycznej i niezawodności eksploatacyjnej. Ważnym problemem w tego rodzaju akumulatorach jest jednak zapobieżenie ewentualnemu uszkodzeniu ogniw i ich wybuchowi, w przypadku niewielkich, powtarzających się przeciążeń lub znacznego ich rozładowania. Aby temu zapobiec, należy zatem kontrolować i odpowiednio równoważyć stan istotnych parametrów poszczególnych ogniw akumulatora, w szczególności wartości napięcia, prądu ładowania i rozładowania oraz temperatury, a w przypadku ewentualnego wystąpienia zagrożenia dokonać automatycznego odłączenia akumulatora od napędu elektrycznego ciągnika. Funkcję taką spełniają Systemy Zarządzania akumulatora BMS (Battery Management System).

Problematyka rozprawy obejmuje w szczególności opracowanie konstrukcji i wykonanie układu aktywnego balansowania BMS akumulatorów litowych metodą „bateria do ogniwa”, algorytmu jego działania, oraz przeprowadzenie licznych badań eksperymentalnych w warunkach laboratoryjnych i eksploatacyjnych (rzeczywistych), mających na celu weryfikację przyjętych założeń konstrukcyjnych.

Rozwój współczesnej Energetyki wymaga, poszukiwania i stosowania nowych rozwiązań systemów aparatury elektrycznej w układach zasilania napędów maszyn górniczych, stosowanych zwłaszcza w kopalniach na znacznych głębokościach. Wiąże się to z potrzebą stałego doskonalenia ich układów, spełniających coraz wyższe wymagania odnośnie do niezawodności i bezpieczeństwa pracy. Osiągnięcia w tej dziedzinie, bazują między innymi na wynikach badań doświadczalnych, analizach teoretycznych, oraz inwencji projektantów, na pograniczu dyscyplin naukowych Górnictwa, Środowiska i Energetyki oraz Automatyki, Elektrotechniki i Elektroniki.

Recenzowana rozprawa dobrze wpisuje się w ten nurt prac badawczych i dotyczy zagadnień aktualnych oraz ważnych, czego wyrazem są liczne artykuły na ten temat w literaturze światowej, na organizowanych konferencjach i sympozjach naukowych.

Można więc stwierdzić, że podjęta przez doktoranta tematyka ma duże znaczenie poznawcze, jest jak najbardziej celowa, nowoczesna i o dużym znaczeniu praktycznym. Zapewnia bowiem bezpieczną eksploatację układów zasilania napędów elektrycznych w środowisku kopalnianym, unikając ewentualnych zagrożeń rażeniowych czy pożarowych. Mając powyższe na uwadze, recenzent pozytywnie ocenia wybór tematu rozprawy doktorskiej.

W stosunku do zakresu pracy doktorskiej opiniujący zgłasza następujące uwagi ogólne:

1. Przeprowadzone przez doktoranta badania eksperymentalne dotyczyły pomiarów wielkości charakterystycznych akumulatorów litowo-jonowych z aktywnym BMS, w warunkach obciążalności prądowej sięgającej wartości 50% ich znamionowej obciążalności prądowej i przy stałej wartości prądu balansowania równej 2 A. *Byłoby interesujące uzyskać od Autora uzupełniającą opinię dotyczącą ewentualnych zmian na przykład wartości temperatury badanych ogniw akumulatora, czy oceny poziomu „żywności ogniw” akumulatora na jednym ładowaniu, ale w warunkach zwiększonej obciążalności prądowej rozpatrywanego układu ?;*
2. Przedstawione w pracy liczne badania eksperymentalne mają znaczenie aplikacyjne, ponieważ ich wyniki stwarzają podstawy do racjonalnego i optymalnego projektowania pracy systemów balansowania akumulatorów z ogniwami litowo-jonowymi. *Byłoby interesujące uzyskać od Autora opinię, czy na tym etapie prac projektowych i badań systemów aktywnego balansowania BMS akumulatorów obciążonych prądami o różnych wartościach, można by już podjąć próbę sformułowania pewnego wskaźnika syntetycznego efektywności działania systemu BMS, z punktu widzenia przyjętych kryteriów oceny i ich wag ?;*
3. W pracy wykonano serię pomiarów, ogólnie biorąc, użyteczności akumulatora litowego z aktywnym BMS, przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych i eksploatacyjnych, podając wyniki tych pomiarów, jedynie w postaci wykresów. Nie podano natomiast analizy statystycznej rozrzutów wyników tych badań. *Byłoby jednak pożądane ustosunkowanie się do tych zagadnień przez doktoranta.*

Wymienione wyżej uwagi ogólne, traktuję jako dyskusyjne i nie podważają one dalej tezy pracy doktorskiej, natomiast rozszerzają jej zakres. Opiniujący oczekuje ustosunkowania się do wymienionych wyżej uwag ogólnych, w czasie publicznej obrony doktorskiej.

## **2. Zakres pracy doktorskiej i jej elementy oryginalne**

Opiniowana praca obejmuje:

- a. wstęp,
- b. cel, tezę i zakres pracy,
- c. charakterystykę warunków środowiskowych pracy urządzeń elektrycznych górniczych,
- d. ogólną budowę i działanie akumulatorów litowych oraz rodzaje zagrożeń związanych z ich eksploatacją w kopalniach, zwłaszcza zainstalowanych na znacznych głębokościach,

- e. rodzaje układów zarządzania i systemów balansowania akumulatorów ogniw litowych (BMS) oraz ich kryteria oceny, w warunkach kopalnianych,
- f. badania eksperymentalne wybranych systemów balansowania (BMS) akumulatorów i pojedynczych ogniw litowych, w warunkach laboratoryjnych i eksploatacyjnych (rzeczywistych),
- g. analizę uzyskanych wyników badań i wnioski końcowe.

Doktorant w pracy postawił sobie za cel, znalezienie najbardziej efektywnej metody balansowania ogniw w akumulatorach litowych, przeznaczonych do zasilania napędów elektrycznych w ciągnikach transportowych podwieszanych stosowanych w kopalniach, z uwzględnieniem występujących tam warunków środowiskowych. Prowadząc badania eksperymentalne istniejących już i opracowanych przez autora systemów balansowania (BMS), postawił tezę pracy rozprawy doktorskiej podaną w punkcie 2 (str. 8), że *„Zastosowanie odpowiedniego do wymagań eksploatacyjnych i środowiskowych układu aktywnego balansowania ogniw litowych metodą „bateria do ogniwa” pozwala na uzyskanie wymaganej w warunkach górniczych trwałości i niezawodności pracy układów zasilania maszyn górniczych”*.

Teza sformułowana przez doktoranta w rozprawie doktorskiej została potwierdzona dokonanymi działaniami projektowymi systemu aktywnego balansowania ogniw w akumulatorach litowo-jonowych jak i wynikami eksperymentalnych badań autora.

Zdaniem recenzenta za oryginalny dorobek zawarty w pracy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Kurpiela należy uznać:

- a. Metodyczne podejście do sprecyzowania przebiegu modernizacji istniejących rozwiązań systemów aktywnego balansowania ogniw w akumulatorach litowo-jonowych, a mającej wpływ na efektywność działania układu zasilającego z systemem BMS w warunkach górniczych, oraz na obniżenie ciężaru układu zasilającego i jego bezpieczeństwo pracy.
- b. Całość prac koncepcyjnych i projektowych umożliwiających realizację efektywnego systemu aktywnego balansowania ogniw w akumulatorach litowo-jonowych, przeznaczonego do stosowania w kopalniach węglowych.
- c. Twórcze wykorzystanie wyników badań w tej dziedzinie, przeprowadzonych w kraju i zagranicą, stanowi logiczną podstawę rozwijanej przez Autora tezy, oraz programu i realizacji badań eksperymentalnych.

- d. Doktorant wykazał się zdolnością do samodzielnego prowadzenia badań, a także sumiennością w przedstawianiu uzyskanych ich wyników.

### 3. Ocena wiedzy doktoranta w zakresie realizowanej pracy doktorskiej i jej poziomu edytorskiego

W rozprawie doktorskiej doktorant powołał się na 44 pozycje literatury dotyczącej:

- a. stanu zagrożeń górniczych i związanych z nimi eksploatacją akumulatorów z ogniwami litowo-jonowymi,
- b. systemów nadzorującymi pracę tych akumulatorów, w celu zwiększenia bezpieczeństwa i żywotności ich działania w danym środowisku,
- c. rozwiązań konstrukcyjnych pasywnych i aktywnych systemów balansowania akumulatorów.

Lista publikacji Doktoranta zawiera trzy pozycje, w tym dwie współautorskie, z lat 2014 - 2018, natomiast nie zawiera wykazu patentów na wynalazki z tego obszaru.

Podany wykaz literatury można uznać jako wystarczający do przyjętego planu i programu badań. Rozprawa została napisana i zredagowana umiarkowanie starannie, z uchybieniami redakcyjnymi, oraz powtórzeniami tekstu.

### 4. Uwagi szczegółowe

Do opiniowanej pracy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Kurpiela recenzent zgłasza następujące uwagi szczegółowe:

1. s. 4. ....wykorzystanie baterii z grupy litowej, *termin baterii dotyczy źródeł nie nadających się do powtórnego naładowania ((Dz. U. Nr 79, poz. 666), ?;*
2. s. 25. .... Dla współczynnika wypełnienia 0,2, ....., *wskazane byłoby podanie również jego wartości zadawalającej ?;*
3. s. ,,,,,,, pyłu zawieszonego ....., *wskazane jest podanie odnośnika do literatury ?.*
4. s. 49 i s.16 , *przykład powtórzeń, np. definicji trwałości ?;*
5. s. 63. .... prąd o różnych wartościach tj.: 1,75 A, 2,5 A, ....., *brak wartości 1,2 A ?;*

6. s. 109. .... dla małej wartości (2 A) prądu balansowania ...., *wskazane byłoby podanie propozycji zalecanego związku wartości prądu balansowania z wartością pojemności akumulatora ?*

## 5. Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Wojciecha Kurpiela  
pt.

*„Wpływ systemu balansowania na trwałość i bezpieczeństwo pracy baterii ogniwo litowych w wybranych układach zasilania maszyn górniczych”*

oparta o wyniki analiz projektowych i badań doświadczalnych, spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim.

Rozpoznane i opracowane zostały parametry konstrukcyjne układu aktywnego balansowania BMS akumulatorów litowych metodą „bateria do ogniwa”, wraz z algorytmem jego działania, oraz przeprowadzone zostały liczne badania eksperymentalne, w warunkach laboratoryjnych i eksploatacyjnych (rzeczywistych, mających istotny wpływ na efektywność i użyteczność działania systemu balansowania BMS.

Omawiana rozprawa stanowi samodzielne rozwiązanie ważnego zadania naukowego z dyscypliny naukowej *Górnictwa, Środowiska i Energetyki*, dotyczącego doskonalenia procesu projektowania oraz badań eksperymentalnych konstrukcji systemu balansowania BMS dla akumulatorów i ogniwo litowo-żelazowo-fosforanowych (LiFePO<sub>4</sub>), przeznaczonych do stosowania w ciągnikach transportowych podwieszanych w kopalniach, zwłaszcza na znacznych głębokościach.

Podsumowując, można stwierdzić, że mgr inż. Wojciech Kurpiel podjął aktualne i ważne zadanie, rozwiązując je, stosując akceptowalne metody, oraz wykazał się zarówno wiedzą jak i umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej,

W świetle wymagań i przepisów Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.) stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Wojciecha Kurpiela spełnia wymagania określone w wyżej wymienionej Ustawie, w związku z czym stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej dyskusji i obrony.

  
/ Stanisław Kulas /