

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ AUTOMATYKI, ROBOTYKI I ELEKTROTECHNIKI



**Streszczenie rozprawy doktorskiej**

***Modeling the degradation process of lithium-ion cells  
taking into account dynamically variable load***

***Modelowanie procesu zużycia ogniw litowo-jonowych  
z uwzględnieniem dynamicznie zmiennego obciążenia***

**mgr inż. Damian Burzyński**

Dziedzina: nauki inżyniersko-techniczne

Dyscyplina naukowa: automatyka, elektronika i elektrotechnika

Promotor : dr hab. inż. Leszek Kasprzyk, profesor uczelni

Poznań, 2022

## Streszczenie

Niniejsza rozprawa doktorska pt. „Modelowanie procesu zużycia ogniw litowo-jonowych z uwzględnieniem dynamicznie zmiennego „obciążenia” złożona jest w formie monotematycznego cyklu oryginalnych artykułów naukowych składającego się z trzech publikacji. W rozprawie przedstawiono nowe metody modelowania procesu zużycia ogniw typu NMC 18650 z wykorzystaniem systemów mających zdolność uogólniania wiedzy, takich jak logika rozmyta oraz metod uczenia maszynowego z nadzorem. W pracy Burzyński D., Pietracho R., Kasprzyk L., Tomczewski A., „*Analysis and Modeling of the Wear-Out Process of a Lithium-Nickel-Manganese-Cobalt Cell during Cycling Operation under Constant Load Conditions*” badano wpływ wybranych parametrów pracy na liczbę cykli, które może wykonać ogniwo zanim osiągnie założony wskaźnik zużycia. Na podstawie przeprowadzonych analiz i uzyskanych wyników zaproponowano nowy typ funkcji odwzorowującej wpływ temperatury otoczenia na liczbę cykli pracy ogniwa. Przedstawiono koncepcję modelu rozmytego typu Mamdaniego umożliwiającą wyznaczenie stanu zużycia ogniwa. W artykule Burzyński D., Kasprzyk L., „*A novel method for the modeling of the state of health of lithium-ion cells using machine learning for practical applications*” opisano wyniki badań trwałości ogniw prowadzonych w dwóch aspektach. Pierwszy dotyczył badania i analizy wpływu poszczególnych parametrów pracy cyklicznej na szybkość zużycia ogniwa w stałych warunkach obciążeniowych. Wykazano, iż proces zużycia ogniw charakteryzuje się wysoką zmiennością w zależności od wartości parametrów pracy cyklicznej (przede wszystkim dotychczasowego stanu zużycia ogniwa). Na podstawie szczegółowych analiz opracowano autorski, wieloparametryczny model predykcji szybkości zużycia ogniwa, uwzględniający jego dotychczasowe zużycie. Drugi aspekt związany był z weryfikacją modelu podczas dynamicznie zmiennego obciążenia (generowanego w sposób losowy), w założonym okresie eksploatacji. Wykazano wysoką skuteczność zaproponowanego modelu. W publikacji Burzyński D., „*Useful Energy Prediction Model of a Lithium-ion Cell Operating at Various Duty Cycles*” zajęto się zagadnieniem predykcji relatywnej energii użytecznej ( $RUE_c$ ), którą ogniwo może wymienić w trakcie pełnego cyklu pracy, podczas całego okresu eksploatacji. Skutkiem przeprowadzonych analiz była między innymi identyfikacja trzech wzorców dynamiki zmian dostępnej energii dla ogniw pracujących w różnych warunkach obciążeniowych i temperaturowych. Opracowano nowy model uczenia maszynowego z nadzorem, umożliwiający predykcję relatywnej energii użytecznej, a następnie udowodniono jego wysoką dokładność. W celu wyznaczenia istotności poszczególnych parametrów modelu oraz ich ilościowego wpływu na uzyskane wyniki, zastosowano techniki wyjaśnialnego uczenia maszynowego (metodę istotności zmiennych oraz zakumulowanych efektów lokalnych pierwszego i drugiego rzędu). We wszystkich wymienionych artykułach szczegółowo opisano procedurę eksperymentalną oraz proponowane oryginalne metody modelowania, wykorzystujące wyniki przeprowadzonych przez autora badań i analiz naukowych, a także udowodniono ich skuteczność.

Do rozprawy doktorskiej dołączono autoreferat składający się z sześć rozdziałów. W rozdziale 1 i 2 przedstawiono wykształcenie doktoranta oraz informacje o jego dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych. W rozdziale 3 zawarto szczegółowy opis artykułów naukowych wchodzących w skład rozprawy doktorskiej. Podsumowanie całej działalności naukowo-badawczej wraz z informacjami o cytowalności publikacji Autora zawarto w rozdziale 4. W rozdziale 5 przedstawiono działalność dydaktyczną doktoranta. Pozostałe informacje istotne z punktu widzenia kariery naukowej doktoranta przedstawiono w rozdziale 6.



## Abstract

This dissertation entitled „Modeling the degradation process of lithium-ion cells taking into account dynamically variable load” is submitted as a monothematic series of original scientific articles consisting of three publications. This thesis presents new techniques for modeling the degradation process of 18650 NMC cells using methods that have knowledge generalization ability, such as fuzzy logic and supervised machine learning methods. In the paper Burzyński D., Pietracho R., Kasprzyk L., Tomczewski A., „*Analysis and Modeling of the Wear-Out Process of a Lithium-Nickel-Manganese-Cobalt Cell during Cycling Operation under Constant Load Conditions*” the effect of selected operating parameters on the number of cycles a cell can complete before it reaches its degradation rate was studied. On the basis of conducted analyses and obtained results, a new type of function mapping the ambient temperature influence on the number of cell operating cycles was proposed. The concept of fuzzy model of Mamdani type enabling determination of cell state of health was presented. The article Burzyński D., Kasprzyk L., „*A novel method for the modeling of the state of health of lithium-ion cells using machine learning for practical applications*” describes the result of cell life studies conducted in two aspects. The first concerned the study and analysis of the influence of individual parameters of cyclic operation on the rate of cell degradation under constant load conditions. It was shown that the process of cell degradation is characterized by high variability depending on the value of parameters of cyclic operation (cell actual state of health). On the basis of detailed analyses an authorial, multi-parametric model of cell degradation rate prediction was developed, taking into account its actual state of health. The second aspect was connected with verification of the model during dynamically varying load (randomly generated), in the assumed operation period. High efficiency of the proposed model was demonstrated. The paper Burzyński D., „*Useful Energy Prediction Model of a Lithium-ion Cell Operating at Various Duty Cycles*” addresses the issue of predicting the relative useful energy ( $RUE_c$ ) that cell can transfer during a full duty cycle, over its lifetime. The analyses resulted, among other things, in the identification of three patterns of dynamics of changes in available useful energy for cells operating under different load and temperature conditions. A new supervised machine learning model for the prediction of relative useful energy was developed and its high accuracy was proven. Explainable machine learning techniques (variable importance method and first- and second-order accumulated local effects) were used to determine the significance of individual model parameters and their quantitative impact on the results obtained. In all the mentioned articles, the experimental procedure and the proposed original modeling methods are described in detail, using the results of the author’s scientific research and analysis, and their effectiveness is proven.

The dissertation is accompanied by an autoreference consisting of six chapters. Chapters 1 and 2 present the doctoral student’s educational background and information about his previous employment in scientific institutions. Chapter 3 contains a detailed description of the scientific articles included in the dissertation. The summary of the whole scientific and research activity together with the information about citation rate of the author’s publications is contained in Chapter 4. Chapter 5 presents the didactic activity of the doctoral student. Other information relevant to the scientific career of the doctoral student is presented in Chapter 6.

