



Wydział Inżynierii Materiałowej  
Katedra Inżynierii Produkcji

prof. dr hab. inż.  
Krzysztof Nowacki

### Recenzja pracy doktorskiej mgr. inż. Rafała KUŹNIAKA

pt.: „Metoda doboru mocy i pojemności magazynu energii elektrycznej w celu redukcji kosztów w zakładzie przemysłowym”

opracowana na zlecenie Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej

#### Ocena wyboru tematu pracy doktorskiej

Światowa, a przede wszystkim europejska polityka proekologiczna i idąca w ślad za nią transformacja energetyczna, wojna w Ukrainie i kryzys surowcowy, doprowadziły w ostatnich latach, szczególnie w Polsce w której produkcja energii elektrycznej w dużej mierze oparta jest na węglu, do kryzysu energetycznego. Namacalnym dowodem tego jest lawinowy wzrost ceny energii elektrycznej. Proekologiczna polityka UE zakłada systematyczne zastępowanie nieekologicznych źródeł energii elektrycznej, źródłami odnawialnymi, tzw. OZE, którymi są np. elektrownie wiatrowe i panele fotowoltaiczne. W pierwszym etapie transformacji działania skierowane były na indywidualnych odbiorców, tzw. prosumentów, którzy przede wszystkim zaspokajali swoje potrzeby energetyczne, a nadwyżkę przekazywali do użytku w sieci publicznej. Drastyczny wzrost cen energii poniekąd wymusił, a na pewno przyspieszył decyzje podejmowane w zakładach przemysłowych, szczególnie energochłonnego sektora produkcyjnego, dotyczące tzw. „zazielenienia” przedsiębiorstw. O ważności tego zagadnienia świadczy fakt, że jednym z modułów unijnego programu Funduszy Europejskich Nowoczesnej Gospodarki jest „zazielenienie przedsiębiorstw”. Zadaniem programu jest wprowadzenie do zarządów przedsiębiorstw idei promujących zrównoważony rozwój bez wycisku natury. Oprócz wprowadzenia skutecznego zarządzania odpadami w sposób niezanieczyszczający środowiska, nacisk kładziony jest na proces produkcji, który ma się stać bardziej ekologiczny i nastawiony na zielone źródła energii. Kluczowym w tym przedsięwzięciu jest magazynowanie energii pochodzącej z OZE, uzupełnianej zakupami na rynku energetycznym w momentach niższych cen. Aby ta idea była możliwa, konieczne jest posiadanie w całym układzie energetycznym przedsiębiorstwa magazynów energii o określonych parametrach. Parametry te muszą być właściwie dobrane przed inwestycją, bowiem zbyt niskie spowodują nieefektywność układu, a zbyt wysokie, przy dużych kosztach inwestycyjnych, nieuzasadnione wydatki.

Politechnika Śląska  
Wydział Inżynierii Materiałowej  
Katedra Inżynierii Produkcji

ul. Krasińskiego 8, pok. 141, 40-019 Katowice  
+48 32 603 44 12  
[krzysztof.nowacki@polsl.pl](mailto:krzysztof.nowacki@polsl.pl)

NIP 631 020 07 36  
ING Bank Śląski S.A. o/Gliwice 60 1050 1230 1000 0002 0211 3056



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Biorąc pod uwagę powyższe, pozytywnie oceniam wybór tematu realizowanej pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Rafała Kuźniaka. Temat dysertacji spełnia warunek aktualności i jednocześnie stanowi odpowiedź na zapotrzebowanie na działalność badawczą w obszarze gospodarowania energią przez zakłady przemysłowe, mieszczący się dyscyplinie inżynieria mechaniczna, szczególnie w obszarze inżynierii produkcji.

### **Charakterystyka i ocena pracy doktorskiej**

Recenzowana praca doktorska zredagowana jest według klasycznego i akceptowanego schematu na 157 stronach, które obejmują:

- wprowadzenie (rozdz.1),
- cel i zakres pracy wraz z postawionymi hipotezami (rozdz. 2),
- przegląd literaturowy (rozdz. 3 i 4) zawierający charakterystykę badanej problematyki z zakresu polityki klimatyczno-energetycznej oraz uwarunkowań pracy magazynów energii w przemyśle,
- części analityczną (rozdz. 5) zawierającą opis opracowanych autorskich modeli doboru mocy i pojemności magazynów energii oraz symulację ich eksploatacji (rozdz. 6 i 7),
- podsumowanie i wnioski końcowe (rozdz. 8).

Ponadto w treści pracy zamieszczono spis oznaczeń i bibliografii, przepisów prawnych oraz rysunków i tabel. Spis bibliograficzny, zawiera 103 prawidłowo dobrane pozycje krajowe i zagraniczne, w tym 3 publikacje w których Doktorant jest pierwszym autorem.

W rozdziale 2, zgodnie z jego tytułem, Doktorant zawarł cel i zakres pracy. Cel pracy, choć prawidłowo sformułowany, w dużej mierze pokrywa się z tematem dysertacji. W mojej opinii można było w temacie pominąć wskazanie na cel opracowania metody doboru mocy i pojemności magazynu energii elektrycznej lub ukierunkować cel pracy na magazyny przemysłowe. Ponadto w podrozdziale 2.1 przedstawiono dwie hipotezy badawcze. Podrozdział 2.1 jest jedynym podrozdziałem w rozdziale 2, więc nie było potrzeby wyodrębniania go w strukturze pracy, natomiast przedstawione hipotezy są bardzo podobne. Różnią się w zasadzie strategiami, które są rozpatrywane w pracy. Strategie arbitrażu cenowego oraz peak shaving zostały przedstawione w dalszej części pracy, jednak Autor nie dokonuje ich porównania. Uważam, że warto wskazać na silne i słabe strony ww. strategii w analizie porównawczej.

Pomijając wstęp, rozprawę otwiera analiza literaturowa problematyki poruszanej w pracy, którą Autor zamieścił na 48 stronach, dzieląc ją na dwa główne rozdziały:

- „Przegląd literaturowy”,
- „Uwarunkowania pracy magazynu energii w zakładzie przemysłowym”.

Przedstawione w tej części dysertacji treści wprowadzają czytelnika w analizowane w dalszej części zagadnienia, udowadniając jednocześnie dużą wiedzę Doktoranta w tym temacie. Ich lektura nasuwa kilka pytań:

- Jak Autor definiuje efektywność energetyczną przedsiębiorstwa? To określenie przytaczane jest w pracy wielokrotnie, jednak nie zostało wyjaśnione czym jest, jak jest wyznaczane oraz jakie są jej wskaźniki.

- Jak Autor rozumie „poszukiwania optymalnej relacji przychodów i wybranych kosztów magazynu energii” (str. 8), „optymalnej wielkości parametrów technicznych magazynu energii” (str. 9)? Mówiąc o rozwiązaniu optymalnym należałoby przeprowadzić optymalizację wielokryterialną. W analizowanym przypadku można mówić o rozwiązaniu, konfiguracji najlepszej wg. określonego kryterium lub co najwyżej o rozwiązaniu suboptymalnym.
- Proszę o wyjaśnienie pojęcia pracy jednostek w „układzie wyspowym” (str. 11).
- Dlaczego na rys. 1 koszty przedstawiane są w różnych jednostkach (złoty i euro)?
- Udział OZE w produkcji energii w roku 2020 powinien wynosić 15,5%. Wg tabeli 3 w Polsce wyniósł on 12,52%. Jakie konsekwencje związane z nieosiągnięciem celu poniosła lub poniesie Polska?

Powyższe uwagi należy traktować jako wstęp do dyskusji, mając na uwadze, że nie wpływają one na poziom merytoryczny tej części pracy.

W dalszej części pracy, w rozdziale 5 przedstawiono autorską metodykę doboru mocy i pojemności magazynu energii przy zastosowaniu strategii arbitrażu cenowego oraz peak shaving. Doktorant przedstawia w tym rozdziale charakterystykę obiektów/zakładów dla których przeprowadzane zostaną symulacje weryfikujące poprawność metodyki, przyjęte założenia i ograniczenia modeli matematycznych oraz ich postać. Rozdział ten, opracowany starannie i czytelnie, uważam za najważniejszy w dysertacji. Szczególnie przydatne dla czytelnika mogą być graficzne prezentacje stanów pracy magazynów energii. Następnie w rozdziale 6 Autor dokonuje symulacji doboru oraz przydatności magazynów energii dla przyjętych wcześniej obiektów rzeczywistych i strategii, a w rozdz. 7 dobru parametrów pracy magazynów. Pomimo starannego opracowania nasuwa się kilka pytań do części analitycznej pracy.

1. Dlaczego w obliczeniach przyjęto całkowitą sprawność magazynu energii jako 85% a głębokość rozładowania założono jako 20% (str. 81) i 80% (str. 89)? Jaka była podstawa przyjętych arbitralnie ww. wartości?
2. W jakim celu, na jakiej podstawie przyjęto 15 minutowe okresy pomiarowe przy strategii arbitrażu cenowego?
3. Dlaczego wyniki symulacji stanu naładowania magazynu energii dla wariantu arbitrażu cenowego na rys. 24 przedstawiono dla magazynów 1000 i 4500 kWh a w tabeli 15 ograniczono symulację do 4000 kWh?
4. Jaka była metodyka wyznaczania punktu charakterystycznego wynikającego z ograniczeń mikrosieci oraz jak należy go interpretować?
5. W podrozdziale 7.2.1 przedstawiono analizę porównawczą histogramów „prezentujących liczebność w klasach dla Przedsiębiorstw” (rys. 45). Autor nie wyjaśnia jakich okresów dotyczy moc pobrana zestawiona w klasach, jakie przedziały reprezentują poszczególne klasy oraz jaka była metoda i cel wyznaczania „liczby klas odchylenia standardowego”. Aby właściwie porównać wyniki zestawione na rys. 45 należało przeprowadzić analizę porównawczą rozkładów ich przebiegów, przy czym cel takiej analizy w recenzowanej rozprawie nie został precyzyjnie określony.

Ostatnim rozdziałem recenzowanej rozprawy jest podsumowanie i wnioski końcowe (rozd. 8). Autor przedstawił w nim w sposób skompensowany pozyskane w trakcie realizacji pracy informacje oraz zaprezentował wnioski odnoszące się do modeli dla strategii arbitrażu cenowego oraz peak shaving. Wnioski i dyskusja wyników

wynikają z przeprowadzonych badań, do których nie wnoszę zastrzeżeń. W rozdz. 8.3 przedstawiono walidację postawionych hipotez badawczych, słusznie wskazując, że hipoteza 2 nie została w trakcie badań potwierdzona. Dodatkowo Doktorant w rozdziale Podsumowanie i wnioski zawarł „Ograniczenia niniejszych studiów”. Uważam, że ograniczenia te powinny zostać zaprezentowane na początku części praktycznej wraz z opisem metodyki badań. Jako wnioski końcowe, szczególnie cenne dla Autora pod kątem dalszej pracy naukowej, przedstawiono wykaz propozycji kierunków przyszłych badań.

Pomimo widocznej dużej staranności w opracowaniu rozprawy, Autor nie ustrzegł się drobnych błędów, które zauważyłem podczas lektury, a dotyczyły one:

- niezrozumiałej konstrukcji kilku zdań,
- błędów literowych w tekście pracy.

Są to drobne błędy, które nie obniżają poziomu naukowego pracy, ale powinny zostać skorygowane w przypadku wykorzystania materiału do dalszych publikacji.

Wszystkie powyższe uwagi mają w dużej mierze charakter dyskusyjny i nie wpływają na moją pozytywną ocenę wartości merytorycznej pracy, ogólnej prawidłowości koncepcji badań i zastosowanych technik badawczych.

#### **Wniosek końcowy**

Biorąc pod uwagę aktualność tematyki rozprawy doktorskiej, mającą znaczenie poznawcze i użyteczne oraz umiejętności Doktoranta, który:

- wykazał dobre opanowanie warsztatu naukowego w zakresie gromadzenia danych przemysłowych, ich interpretacji oraz budowy modeli matematycznych,
- sformułował i rozwiązał samodzielnie określony problem badawczy zgodnie z postawionymi hipotezami oraz dobrał do niego właściwe metody badawcze,
- udowodnił, że możliwe jest zastosowanie metody doboru mocy i pojemności magazynów energii elektrycznej w przemyśle, przydatnej szczególnie wg strategii arbitrażu cenowego,
- na podstawie badań własnych uzupełnił lukę naukową w obszarze zarządzania wiedzą dotyczącą magazynowania energii w przemyśle,

stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska pt.: „Metoda doboru mocy i pojemności magazynu energii elektrycznej w celu redukcji kosztów w zakładzie przemysłowym” zawiera się w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna, szczególnie w obszarze Inżynierii Produkcji oraz spełnia wymagania określone w art. 13 ust. 1 Ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki z dn. 14 marca 2003r (DzU 2017 poz. 1789 tj. ze zm.).

Na podstawie powyższego wnioskuję o dopuszczenie mgr. inż. Rafała Kuźniaka do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

