

Szczecin, dnia 26 czerwca 2026 r.

dr hab. Wojciech Drożdż, prof. US
Katedra Logistyki US
Centrum Zarządzania w Energetyce US

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana Volkmara Waltera Kunertha
pt. „Artificial Intelligence and the Internet of Things in Microgrids and Smart
Grids: An Economic Analysis of Productivity, Efficiency, and Demand
Response to Dynamic Pricing”,
przygotowanej na Wydziale Ekonomicznym Uniwersytetu Gdańskiego
pod kierunkiem naukowym dr. hab. Przemysława Borkowskiego, prof. UG

I. Podstawa opracowania recenzji i ogólna charakterystyka formalna dysertacji

Niniejsza recenzja została sporządzona w związku z przekazaniem do oceny rozprawy doktorskiej Pana Volkmara Waltera Kunertha pt. „Artificial Intelligence and the Internet of Things in Microgrids and Smart Grids: An Economic Analysis of Productivity, Efficiency, and Demand Response to Dynamic Pricing”. Rozprawa została przygotowana w dziedzinie nauk społecznych, w dyscyplinie ekonomia i finanse, na Wydziale Ekonomicznym Uniwersytetu Gdańskiego, pod kierunkiem naukowym dr. hab. Przemysława Borkowskiego, prof. UG.

Przedłożona do recenzji dysertacja obejmuje 263 strony. Jej zasadnicza struktura obejmuje wstęp, cztery rozdziały merytoryczne, zakończenie, spis tabel i rysunków oraz bibliografię. Praca zawiera również streszczenie w języku polskim, abstrakt w języku angielskim, podziękowania, listę publikacji oraz wykazy elementów graficznych. Tak skonstruowany układ jest czytelny i odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim o charakterze teoretyczno-empirycznym.

Rozprawa ma charakter interdyscyplinarny, z wyraźnie zaznaczonym komponentem aplikacyjnym. Autor łączy przegląd literatury, aparat pojęciowy ekonomii i finansów oraz analizę studiów przypadku rzeczywistych wdrożeń mikrosieci, inteligentnych sieci elektroenergetycznych, mechanizmów dynamicznego kształtowania cen i zarządzania popytem na energię elektryczną. W dysertacji wykorzystano m.in. takie kategorie analityczne jak:

całkowita produktywność czynników produkcji (TFP), uśredniony koszt wytwarzania energii (LCOE), wewnętrzna stopa zwrotu (IRR), wartość bieżąca netto (NPV), elastyczność cenowa popytu, ekonomia dobrobytu, teoria produkcji oraz teoria struktur rynkowych.

II. Ocena doboru problematyki badawczej i tematu rozprawy

Podjęta przez Doktoranta problematyka badawcza zasługuje na jednoznacznie pozytywną ocenę. Dotyczy ona jednego z najważniejszych obszarów współczesnej transformacji energetycznej, tj. ekonomicznej oceny zastosowania sztucznej inteligencji i Internetu Rzeczy w mikrosieciach oraz inteligentnych sieciach elektroenergetycznych. Temat rozprawy wpisuje się w kluczowe procesy zachodzące obecnie w energetyce: dekarbonizację, decentralizację, cyfryzację, rozwój energetyki rozproszonej, integrację odnawialnych źródeł energii, automatyzację zarządzania popytem oraz stopniowe przechodzenie od klasycznego modelu scentralizowanego do bardziej elastycznych i transakcyjnych struktur rynku energii.

Wybór tematu należy uznać za trafny również dlatego, że Autor nie ograniczył się do ogólnego opisu technologii AI i IoT, lecz podjął próbę ich oceny przez pryzmat ekonomicznych skutków wdrożenia. W literaturze przedmiotu zagadnienia smart grid, microgrid, AI i IoT są często analizowane z perspektywy technicznej, inżynierskiej lub informatycznej, natomiast rzadziej są systematycznie przekładane na kategorie ekonomiczne: produktywność, koszty operacyjne, opłacalność inwestycji, reakcję popytu na cenę czy efektywność alokacyjną rynku. W tym sensie dysertacja podejmuje problem aktualny, istotny i poznawczo uzasadniony.

Tytuł rozprawy dobrze oddaje jej zasadniczą treść. Wskazuje zarówno na przedmiot technologiczny analizy, tj. sztuczną inteligencję i Internet Rzeczy, jak i na obszar ich zastosowania, tj. mikrosieci oraz inteligentne sieci elektroenergetyczne. Jednocześnie akcentuje ekonomiczny charakter pracy przez odwołanie do produktywności, efektywności oraz reakcji popytu na dynamiczne mechanizmy cenowe. Tytuł jest rozbudowany, ale adekwatny do zakresu dysertacji.

Na szczególne podkreślenie zasługuje interdyscyplinarny charakter rozprawy. Autor porusza się na styku ekonomii i finansów, energetyki, zarządzania technologiami, ekonomii dobrobytu, analizy inwestycyjnej, modelowania popytu oraz transformacji cyfrowej. Taki dobór problematyki wymaga nie tylko znajomości teorii ekonomicznych, lecz także rozumienia realnych ograniczeń technicznych systemu elektroenergetycznego. W tym zakresie dysertacja wyróżnia się znaczącym walorem aplikacyjnym.

III. Ocena celów, hipotez i założeń badawczych

Główny problem badawczy rozprawy dotyczy wpływu technologii sztucznej inteligencji oraz Internetu Rzeczy na ekonomiczne uwarunkowania produkcji, dystrybucji i konsumpcji energii elektrycznej. Autor bada, czy technologie te poprawiają efektywność operacyjną mikrosieci, zwiększają opłacalność inwestycji, ułatwiają integrację rozproszonych i odnawialnych źródeł energii oraz umożliwiają skuteczniejsze zarządzanie popytem poprzez mechanizmy dynamicznego kształtowania cen.

W pracy przyjęto trzy zasadnicze hipotezy badawcze. Pierwsza zakłada, że integracja AI i IoT zwiększa efektywność operacyjną oraz obniża koszty w mikrosieciach. Druga dotyczy roli AI i IoT w integracji zmiennych odnawialnych źródeł energii oraz wspieraniu przejścia w kierunku bardziej konkurencyjnych struktur rynku energii. Trzecia, w zasadniczej części pracy i w tabelach syntetyzujących, odnosi się do wpływu AI i IoT na skuteczność mechanizmów zarządzania popytem, w tym demand response, dynamic pricing oraz time-of-use pricing.

System hipotez jest generalnie zgodny z tytułem rozprawy i jej zakresem tematycznym. Pozwala on połączyć trzy poziomy analizy: poziom operacyjny mikrosieci, poziom inwestycyjno-finansowy oraz poziom rynkowy, dotyczący reakcji odbiorców energii na bodźce cenowe. Z punktu widzenia konstrukcji naukowej pracy takie ujęcie jest zasadne i dobrze odpowiada współczesnej logice funkcjonowania energetyki cyfrowej.

Jednocześnie w pracy występuje kwestia wymagająca porządkującego doprecyzowania. W streszczeniu i abstrakcie hipoteza trzecia została opisana jako dotycząca poprawy efektywności inwestycji w mikrosieciach, natomiast w dalszej części dysertacji jest ona wiązana z demand-side management, demand response i dynamic pricing. Nie podważa to zasadniczej wartości przeprowadzonej analizy, ale wymaga jednoznacznego doprecyzowania relacji między brzmieniem hipotez, studiami przypadku i wskaźnikami służącymi do ich weryfikacji. Hipotezy stanowią oś konstrukcyjną rozprawy doktorskiej, dlatego wskazana kwestia powinna zostać wyjaśniona przez Doktoranta.

Pomimo tej uwagi należy stwierdzić, że przyjęte cele i założenia badawcze odpowiadają problematyce rozprawy, a ich realizacja została podjęta z wykorzystaniem właściwie dobranych narzędzi analitycznych. Autor wykazał umiejętność przeloczenia ogólnego problemu transformacji energetycznej na konkretne pytania dotyczące mierzalnych efektów ekonomicznych technologii cyfrowych.

IV. Ocena struktury pracy i zawartości merytorycznej poszczególnych części

Układ rozprawy należy ocenić pozytywnie. Struktura pracy jest logiczna i prowadzi czytelnika od ogólnego kontekstu transformacji energetycznej i przemysłowej, przez podstawy teoretyczne, charakterystykę sektora energii i technologii cyfrowych, aż do metodyki badań i analizy studiów przypadku. Praca zachowuje zasadniczą spójność między wprowadzeniem teoretycznym a częścią empiryczną.

We wstępie Autor przedstawia kontekst transformacji energetycznej, wskazuje na rosnące znaczenie odnawialnych źródeł energii, problem zmienności produkcji energii z OZE oraz potrzebę bilansowania podaży i popytu w czasie rzeczywistym. Właściwie zarysowano również lukę badawczą polegającą na braku zintegrowanego podejścia techniczno-ekonomicznego do oceny wpływu AI i IoT na sektor elektroenergetyczny. Wstęp pełni funkcję nie tylko wprowadzającą, ale również uzasadniającą wybór tematu i metod badawczych.

Rozdział pierwszy stanowi rozbudowaną część teoretyczną. Autor omawia ewolucję rewolucji przemysłowych, znaczenie energii i technologii dla wzrostu produktywności, a następnie przechodzi do kategorii ekonomicznych wykorzystywanych w dalszej analizie. Szczególnie wartościowe jest powiązanie klasycznej i neoklasycznej teorii produkcji z kategorią TFP oraz próba uwzględnienia technologii informacyjno-komunikacyjnych jako odrębnego czynnika wpływającego na produktywność. Rozdział ten pokazuje dobre rozeznanie Autora w literaturze ekonomicznej i stanowi potrzebne podłoże dla części empirycznej.

Rozdział drugi dotyczy sektora energetycznego, technologii IoT i sztucznej inteligencji w rozwoju smart grid. Autor trafnie wskazuje, że współczesny sektor elektroenergetyczny jest kształtowany przez jednoczesne oddziaływanie ograniczeń fizycznych, regulacyjnych, ekonomicznych i cyfrowych. Wartościowe jest pokazanie, że technologie cyfrowe nie są dodatkiem do systemu energetycznego, lecz stają się jednym z warunków efektywnego zarządzania rozproszonymi zasobami energii, magazynami, odbiorcami i mechanizmami cenowymi.

W rozdziale trzecim zaprezentowano metodykę studium przypadku. Autor uzasadnia wybór metody wielokrotnego studium przypadku specyfiką analizowanego zjawiska, ograniczoną dostępnością pełnych danych sektorowych oraz relatywnie nowym charakterem wdrożeń mikrosieci i inteligentnych sieci elektroenergetycznych. Zastosowanie tej metody należy uznać za zasadne. Pozwala ona analizować konkretne wdrożenia technologiczne w ich rzeczywistym kontekście ekonomicznym, technicznym i regulacyjnym.

Rozdział czwarty jest najważniejszą częścią rozprawy. Obejmuje analizę czterech przypadków: Blue Lake Rancheria Microgrid, Airtel Madagascar Telecom Microgrids, California Statewide Time-of-Use Pricing Pilots oraz Olympic Peninsula/Transactive Energy Pilot. W tej części Autor podejmuje próbę ilościowej i jakościowej oceny wpływu AI/IoT na produktywność, koszty, efektywność inwestycyjną, mechanizmy rynkowe oraz reakcję popytu na cenę. Rozdział ten posiada najwyższy walor aplikacyjny i stanowi główną podstawę do oceny oryginalności rozprawy.

Zakończenie zawiera syntetyczne zestawienie wyników oraz odniesienie do hipotez badawczych. Autor wskazuje, że AI i IoT mogą generować korzyści ekonomiczne przez poprawę produktywności, zwiększenie opłacalności inwestycji oraz poprawę efektywności mechanizmów rynkowych. Wnioski są zasadniczo spójne z przeprowadzonymi analizami, choć część sformułowań wymagałaby nieco ostrożniejszego ujęcia.

V. Ocena metodyki badań i wyników empirycznych

Wykorzystanie metody wielokrotnego studium przypadku należy uznać za odpowiednie dla podjętej problematyki badawczej. Przedmiotem analizy są złożone, wieloczynnikowe i relatywnie nowe wdrożenia technologiczne, dla których trudno byłoby zbudować szeroką, porównywalną bazę danych umożliwiającą klasyczną analizę ekonometryczną. Metoda case study pozwala uchwycić mechanizmy przyczynowe, kontekst regulacyjny, specyfikę technologiczną i ekonomiczne konsekwencje wdrożeń.

Dobór przypadków należy ocenić pozytywnie. Blue Lake Rancheria i Airtel Madagascar pozwalają analizować wpływ technologii cyfrowych na pracę mikrosieci, koszty operacyjne, zużycie paliwa, niezawodność i efektywność inwestycyjną. California Statewide TOU Pricing Pilots oraz Olympic Peninsula/Transactive Energy Pilot umożliwiają z kolei ocenę mechanizmów demand response, time-of-use pricing, price elasticity oraz potencjalnego wpływu smart meteringu i smart grid na bardziej elastyczne struktury rynku energii.

W przypadku Blue Lake Rancheria Autor wskazuje na mierzalne efekty działania mikrosieci, w tym redukcję zużycia energii i średniego zapotrzebowania o 15%, redukcję zapotrzebowania szczytowego o 17%, redukcję kosztów operacyjnych oraz poprawę wskaźników produktywności. Jest to wartościowy przykład pokazujący, że inteligentne zarządzanie mikrosiecią może przynosić nie tylko korzyści techniczne, lecz również wymierne efekty ekonomiczne.

Szczególnie mocnym fragmentem rozprawy jest analiza przypadku Airtel Madagascar. Autor wskazuje tam na redukcję zużycia paliwa o 48,1%, obniżenie LCOE o około 38,5%, redukcję kosztów operacyjnych o 43,73%, poprawę produktywności o 77,7% oraz przyrostową wewnętrzną stopę zwrotu (IRR) na poziomie 140%. Wartość tej analizy polega na tym, że pokazuje ona bardzo wyraźny związek między wdrożeniem systemu zarządzania energią a kosztami funkcjonowania obiektów zasilanych hybrydowo.

W odniesieniu do California Statewide TOU Pricing Pilots oraz Olympic Peninsula/Transactive Energy Pilot istotne jest pokazanie, że technologie smart grid i smart metering mogą wspierać kształtowanie popytu i przesuwanie obciążeń w czasie. Autor wskazuje m.in. na redukcję zapotrzebowania szczytowego w przedziale od 1,4% do 6,1% oraz elastyczność cenową popytu około -0,17 w wybranym przypadku PG&E. Dane te potwierdzają, że dynamiczne taryfy mogą wpływać na zachowania odbiorców, choć skala tego wpływu jest zależna od grupy odbiorców, sposobu komunikacji taryf, poziomu automatyzacji i kontekstu regulacyjnego.

Zastosowane wskaźniki ekonomiczne - TFP, LCOE, IRR, NPV i price elasticity - są właściwe dla założeń badawczych. Szczególnie pozytywnie należy ocenić próbę powiązania technicznych efektów wdrożeń z mierzalnymi efektami ekonomicznymi. Autor pokazuje, że AI i IoT w energetyce nie są jedynie technologiami poprawiającymi sterowanie, ale mogą wpływać na produktywność zasobów, strukturę kosztów, rentowność inwestycji i efektywność alokacji energii.

Jednocześnie wyniki należy interpretować z właściwą ostrożnością. Praca opiera się na analizie przypadków i danych wtórnych, co umożliwia analityczną generalizację oraz identyfikację mechanizmów, ale nie daje podstaw do statystycznej generalizacji na wszystkie mikrosieci i systemy smart grid. Autor w dużej mierze jest tego świadomy i wskazuje ograniczenia własnego postępowania badawczego, co należy ocenić pozytywnie.

VI. Uwagi polemiczne i kwestie wymagające dodatkowego wyjaśnienia

Pomimo wysokiej oceny merytorycznej rozprawy należy wskazać kilka kwestii wymagających doprecyzowania. Mają one charakter porządkujący i polemiczny, nie zaś dyskwalifikujący wobec zasadniczej wartości naukowej dysertacji.

Po pierwsze, wskazane byłoby jednoznaczne uporządkowanie relacji między hipotezami, studiami przypadku i wskaźnikami wykorzystanymi do ich weryfikacji. Dotyczy to przede wszystkim sposobu prezentacji hipotezy H3 oraz rozbieżności między wartością $TFP = 4,02$

dla Blue Lake Rancheria, wskazaną w streszczeniu i abstrakcie, a wartościami $TFP = 1,37$ oraz $TFP = 1,60$ przedstawionymi w zasadniczej części analizy. Kwestia ta wymaga wyjaśnienia, ponieważ TFP należy do kluczowych kategorii analitycznych pracy.

Po drugie, w dalszych pracach publikacyjnych warto nieco precyzyjniej rozdzielić efekty wynikające z zastosowania AI i IoT od efektów szerszej automatyzacji systemów energetycznych, obejmującej m.in. EMS, smart metering, magazyny energii, instalacje PV i modernizację infrastruktury. Traktowanie AI i IoT jako zintegrowanego pakietu technologicznego jest praktycznie zrozumiałe, jednak wymaga ostrożności przy przypisywaniu konkretnych efektów ekonomicznych poszczególnym komponentom technologii.

Po trzecie, wyniki uzyskane w studiach przypadku należy interpretować z właściwą ostrożnością. Dotyczy to zwłaszcza adaptacji wskaźnika TFP do poziomu pojedynczego projektu, bardzo wysokiej wartości IRR w przypadku Airtel Madagascar oraz wysokiej elastyczności cenowej popytu w przypadku University of Washington. Wyniki te są wartościowe poznawczo i aplikacyjnie, ale ich siła polega przede wszystkim na pokazaniu mechanizmów ekonomicznych, a nie na statystycznej generalizacji na cały sektor mikrosieci i smart grids.

W pracy występują również drobne uchybienia redakcyjne i terminologiczne, w tym niedokończony zapis dotyczący wartości TFP w części syntetyzującej wyniki oraz miejscami niejednolite operowanie pojęciami AI, IoT, ICT, EMS, automation i smart grid. Uchybienia te powinny zostać usunięte przed ewentualną publikacją rozprawy, ale nie obniżają zasadniczej wartości merytorycznej pracy.

VII. Ocena strony formalnej i językowej

Rozprawa została przygotowana w języku angielskim, który jest zasadniczo poprawny, komunikatywny i odpowiedni dla pracy naukowej z zakresu ekonomii i finansów. Autor posługuje się specjalistyczną terminologią z obszaru energetyki, ekonomii, finansów i technologii cyfrowych. Praca jest obszerna, a jej język miejscami jest bardzo techniczny, co jest zrozumiałe przy tak interdyscyplinarnym przedmiocie badań.

Pod względem formalnym rozprawa została opracowana starannie. Zawiera przejrzysty układ rozdziałów, liczne wzory, tabele i rysunki, a także obszerną bibliografię. Pozytywnie należy ocenić obecność streszczenia w języku polskim oraz abstraktu w języku angielskim. Elementy graficzne i tabelaryczne pełnią realną funkcję analityczną, a nie wyłącznie ilustracyjną.

Ewentualnej korekty wymagają głównie kwestie redakcyjno-spójnościowe wskazane wcześniej: jednoznaczne uporządkowanie hipotezy H3, wyjaśnienie rozbieżności w wartości TFP dla Blue Lake Rancheria, ujednolicenie terminologii oraz doprecyzowanie niektórych wniosków. Wskazane uwagi mają charakter porządkujący i nie zmieniają pozytywnej oceny rozprawy.

VIII. Pytania do Doktoranta

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy za zasadne uznaję skierowanie do Doktoranta następujących pytań:

1. Jak Doktorant jednoznacznie definiuje główny wkład AI i IoT w poprawę efektywności ekonomicznej mikrosieci i inteligentnych sieci elektroenergetycznych oraz jak odróżnia ten wpływ od szerszej automatyzacji systemów energetycznych?
2. Jak należy rozumieć relację między przyjętymi hipotezami, wybranymi studiami przypadku i zastosowanymi wskaźnikami ekonomicznymi, zwłaszcza w kontekście prezentacji hipotezy H3 oraz wyników TFP dla Blue Lake Rancheria?
3. Które z uzyskanych wyników, zdaniem Doktoranta, mają największe znaczenie praktyczne dla przedsiębiorstw energetycznych, regulatorów i inwestorów, a które powinny być interpretowane ostrożnie ze względu na ograniczenia metody studium przypadku?

IX. Konkluzja

Recenzowana rozprawa doktorska Pana Volkmara Waltera Kunertha stanowi interesujące, aktualne i wartościowe poznawczo studium ekonomicznych skutków zastosowania sztucznej inteligencji i Internetu Rzeczy w mikrosieciach oraz inteligentnych sieciach elektroenergetycznych. Praca podejmuje problem istotny zarówno dla nauki, jak i praktyki gospodarczej, a jej największą wartością jest próba przełożenia efektów technologicznych na mierzalne kategorie ekonomiczne: produktywność, koszty operacyjne, efektywność inwestycyjną, reakcję popytu, elastyczność cenową i efektywność mechanizmów rynkowych.

Przeprowadzona analiza pozwala stwierdzić, że Doktorant posiada dobrą ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie ekonomia i finanse, zna podstawowe i zaawansowane kategorie ekonomicznej oceny inwestycji energetycznych oraz potrafi zastosować je do analizy współczesnych technologii cyfrowych. Rozprawa potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, formułowania problemu badawczego, doboru metod

badawczych oraz interpretacji wyników w kontekście literatury i praktyki sektora energetycznego.

Wskazane w recenzji uwagi mają charakter porządkujący i polemiczny, a nie dyskwalifikujący. Nie zmieniają one pozytywnej oceny rozprawy, która stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Zasadne jest natomiast, aby wybrane kwestie, zwłaszcza dotyczące prezentacji hipotezy H3 oraz wartości TFP dla Blue Lake Rancheria, zostały wyjaśnione przez Doktoranta podczas publicznej obrony albo doprecyzowane przed ewentualną publikacją rozprawy.

Mając na uwadze powyższe, stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana Volkmar Waltera Kunertha pt. „Artificial Intelligence and the Internet of Things in Microgrids and Smart Grids: An Economic Analysis of Productivity, Efficiency, and Demand Response to Dynamic Pricing” spełnia wymagania określone w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, ponieważ stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie ekonomia i finanse oraz potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Na tej podstawie wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Pana Volkmar Waltera Kunertha do publicznej obrony.

Jednocześnie, mając na względzie aktualność podjętej problematyki, wysoki walor poznawczy i aplikacyjny dysertacji, interdyscyplinarny charakter przeprowadzonych badań, a także próbę skwantyfikowania ekonomicznych efektów zastosowania AI i IoT w sektorze elektroenergetycznym, wnoszę o uznanie rozprawy doktorskiej za wyróżniającą się.

Wojciech Drożdż



Szczecin, 26th of June 2026

Wojciech Drożdż, PhD, DSc, Associate Professor
Department of Logistics US
Center for Management of Energy Sector US

REVIEW

of the doctoral dissertation by Mr. Volkmar Walter Kunerth
entitled “Artificial Intelligence and the Internet of Things in Microgrids
and Smart Grids: An Economic Analysis of Productivity, Efficiency,
and Demand Response to Dynamic Pricing”, prepared at the Faculty
of Economics, University of Gdańsk, under the scientific supervision
of Przemysław Borkowski, PhD, DSc, Associate Professor

I. Basis of the review and general formal characteristics of the dissertation

This review has been prepared in connection with the submission for evaluation of the doctoral dissertation by Mr. Volkmar Walter Kunerth entitled “Artificial Intelligence and the Internet of Things in Microgrids and Smart Grids: An Economic Analysis of Productivity, Efficiency, and Demand Response to Dynamic Pricing”. The dissertation was prepared in the field of social sciences, in the discipline of economics and finance, at the Faculty of Economics of the University of Gdańsk, under the scientific supervision of Przemysław Borkowski, PhD, DSc, Associate Professor.

The submitted dissertation comprises 263 pages. Its principal structure consists of an introduction, four substantive chapters, a conclusion, a list of tables and figures, and a bibliography. The dissertation also includes a Polish summary, an English abstract, acknowledgements, a list of publications, and lists of graphical elements. This structure is clear and corresponds to the requirements normally expected of a theoretical and empirical doctoral dissertation.

The dissertation is interdisciplinary in character and contains a clearly identifiable applied component. The Author combines a literature review, the conceptual apparatus of economics and finance, and case studies of real-world implementations of microgrids, smart grids,

dynamic pricing mechanisms, and electricity demand-side management. The dissertation employs such analytical categories as Total Factor Productivity (TFP), Levelized Cost of Energy (LCOE), Internal Rate of Return (IRR), Net Present Value (NPV), price elasticity of demand, welfare economics, production theory, and market structure theory.

II. Assessment of the research problem and dissertation topic

The research problem undertaken by the Candidate deserves a clearly positive assessment. It concerns one of the most important areas of the contemporary energy transition, namely the economic evaluation of artificial intelligence and Internet of Things applications in microgrids and smart grids. The dissertation topic corresponds directly to the key processes currently transforming the energy sector: decarbonization, decentralization, digitalization, the development of distributed energy resources, the integration of renewable energy sources, the automation of demand management, and the gradual transition from a classical centralized model toward more flexible and transactional electricity market structures.

The choice of topic is also appropriate because the Author does not limit himself to a general description of AI and IoT technologies, but attempts to assess them through the lens of the economic consequences of their deployment. In the existing literature, smart grids, microgrids, AI and IoT are often analyzed from a technical, engineering, or computer science perspective, whereas their systematic translation into economic categories such as productivity, operating costs, investment viability, price-responsive demand, and allocative efficiency is less frequent. In this sense, the dissertation addresses a timely, important, and cognitively justified problem.

The title of the dissertation adequately reflects its substantive content. It identifies both the technological subject of the analysis, namely artificial intelligence and the Internet of Things, and the area of their application, namely microgrids and smart grids. At the same time, it emphasizes the economic character of the work by referring to productivity, efficiency, and demand response to dynamic pricing. The title is extensive, yet appropriate to the scope of the dissertation.

The interdisciplinary nature of the dissertation deserves particular emphasis. The Author operates at the intersection of economics and finance, energy studies, technology management, welfare economics, investment analysis, demand modelling, and digital transformation. Such a research scope requires not only knowledge of economic theory, but also

an understanding of the real technical constraints of the electricity system. In this respect, the dissertation has a significant applied value.

III. Assessment of research objectives, hypotheses and assumptions

The main research problem of the dissertation concerns the impact of artificial intelligence and Internet of Things technologies on the economic conditions of electricity production, distribution, and consumption. The Author examines whether these technologies improve the operational efficiency of microgrids, enhance investment viability, facilitate the integration of distributed and renewable energy sources, and enable more effective demand management through dynamic pricing mechanisms.

The dissertation formulates three principal research hypotheses. The first assumes that the integration of AI and IoT improves operational efficiency and reduces costs in microgrids. The second concerns the role of AI and IoT in integrating variable renewable energy sources and supporting the transition toward more competitive energy market structures. The third, in the main body of the dissertation and in the synthesizing tables, concerns the impact of AI and IoT on the effectiveness of demand-side management mechanisms, including demand response, dynamic pricing, and time-of-use pricing.

The system of hypotheses is generally consistent with the dissertation title and its thematic scope. It enables the Author to connect three levels of analysis: the operational level of microgrids, the investment and financial level, and the market level related to electricity consumers' response to price signals. From the perspective of the scientific construction of the dissertation, this approach is justified and corresponds well to the contemporary logic of digital energy systems.

At the same time, the dissertation contains one important inconsistency that requires clarification. In the Polish summary and the English abstract, the third hypothesis is described as concerning the improvement of investment efficiency in microgrids, whereas in later parts of the dissertation it is linked to demand-side management, demand response, and dynamic pricing. This does not undermine the fundamental value of the analysis, but it requires clear harmonization of the relationship between the wording of the hypotheses, the case studies, and the indicators used for their verification. Since the hypotheses form the structural axis of a doctoral dissertation, this issue should be explained by the Candidate.

Despite this reservation, it should be stated that the adopted objectives and research assumptions correspond to the dissertation's problem area, and their implementation has been

undertaken with appropriately selected analytical tools. The Author demonstrates the ability to translate the general problem of the energy transition into specific questions concerning the measurable economic effects of digital technologies.

IV. Assessment of the dissertation structure and substantive content

The structure of the dissertation should be assessed positively. The layout is logical and guides the reader from the broader context of energy and industrial transformation, through the theoretical foundations and the characteristics of the energy sector and digital technologies, to the research methodology and the analysis of case studies. The dissertation maintains a substantial coherence between the theoretical introduction and the empirical part.

In the introduction, the Author presents the context of the energy transition, points to the growing importance of renewable energy sources, the variability of renewable generation, and the need to balance supply and demand in real time. The research gap is also properly outlined. It concerns the lack of an integrated technical and economic approach to assessing the impact of AI and IoT on the electricity sector. The introduction performs not only an introductory function but also justifies the choice of the topic and research methods.

Chapter 1 constitutes an extensive theoretical part. The Author discusses the evolution of industrial revolutions, the importance of energy and technology for productivity growth, and then moves on to the economic categories used in the subsequent analysis. Particularly valuable is the connection between classical and neoclassical production theory and TFP, as well as the attempt to include information and communication technologies as a distinct factor influencing productivity. This chapter shows the Author's sound knowledge of economic literature and provides the necessary foundation for the empirical part.

Chapter 2 concerns the energy sector, IoT technologies, and artificial intelligence in smart grid development. The Author correctly indicates that the contemporary electricity sector is shaped by the simultaneous influence of physical, regulatory, economic, and digital constraints. It is valuable that the dissertation shows digital technologies not as an external addition to the energy system, but as one of the conditions for the effective management of distributed energy resources, storage systems, consumers, and pricing mechanisms.

Chapter 3 presents the case study methodology. The Author justifies the choice of the multiple case study method by referring to the specificity of the analyzed phenomenon, the limited availability of complete sectoral data, and the relatively recent character of microgrid and smart grid implementations. The use of this method should be considered

justified. It makes it possible to analyze specific technological implementations in their real economic, technical, and regulatory contexts.

Chapter 4 is the most important part of the dissertation. It includes the analysis of four cases: the Blue Lake Rancheria Microgrid, Airtel Madagascar Telecom Microgrids, the California Statewide Time-of-Use Pricing Pilots, and the Olympic Peninsula/Transactive Energy Pilot. In this part, the Author attempts to assess quantitatively and qualitatively the impact of AI/IoT on productivity, costs, investment efficiency, market mechanisms, and price-responsive demand. This chapter has the highest applied value and constitutes the main basis for assessing the originality of the dissertation.

The conclusion provides a synthetic summary of the findings and refers to the research hypotheses. The Author indicates that AI and IoT may generate economic benefits by improving productivity, increasing investment viability, and enhancing the efficiency of market mechanisms. The conclusions are generally consistent with the analyses conducted, although some formulations would benefit from a more cautious wording.

V. Assessment of research methodology and empirical findings

The use of the multiple case study method should be considered appropriate for the research problem addressed. The subject of the analysis consists of complex, multi-factor, and relatively new technological implementations for which it would be difficult to build a broad and comparable dataset suitable for classical econometric analysis. The case study method makes it possible to capture causal mechanisms, regulatory context, technological specificity, and the economic consequences of the analyzed implementations.

The selection of cases should be assessed positively. Blue Lake Rancheria and Airtel Madagascar allow the Author to analyze the impact of digital technologies on microgrid operation, operating costs, fuel consumption, reliability, and investment efficiency. The California Statewide TOU Pricing Pilots and the Olympic Peninsula/Transactive Energy Pilot allow for the assessment of demand response, time-of-use pricing, price elasticity, and the potential impact of smart metering and smart grids on more flexible electricity market structures.

In the Blue Lake Rancheria case, the Author identifies measurable effects of microgrid operation, including a 15% reduction in energy consumption and average demand, a 17% reduction in peak demand, a reduction in operating costs, and an improvement in productivity

indicators. This is a valuable example showing that intelligent microgrid management may bring not only technical benefits, but also measurable economic effects.

A particularly strong part of the dissertation is the analysis of the Airtel Madagascar case. The Author points to a 48.1% reduction in fuel consumption, an approximately 38.5% reduction in LCOE, a 43.73% reduction in operating costs, a 77.7% improvement in productivity, and an incremental IRR of 140%. The value of this analysis lies in demonstrating a clear link between the deployment of an energy management system and the operating costs of hybrid-powered facilities.

With regard to the California Statewide TOU Pricing Pilots and the Olympic Peninsula/Transactive Energy Pilot, it is important that the dissertation shows how smart grid and smart metering technologies may support demand shaping and load shifting over time. The Author points, among other things, to peak demand reductions ranging from 1.4% to 6.1% and price elasticity of demand of approximately -0.17 in a selected PG&E case. These data indicate that dynamic tariffs can influence consumer behaviour, although the scale of this influence depends on the consumer group, tariff communication, automation level, and regulatory context.

The economic indicators used in the dissertation - TFP, LCOE, IRR, NPV, and price elasticity - are appropriate for the research assumptions. The attempt to link technical implementation effects with measurable economic effects should be assessed particularly positively. The Author shows that AI and IoT in the energy sector are not merely technologies improving control, but may influence resource productivity, cost structures, investment profitability, and the efficiency of energy allocation.

At the same time, the results should be interpreted with due caution. The dissertation is based on case studies and secondary data, which enable analytical generalization and the identification of mechanisms, but do not provide grounds for statistical generalization to all microgrids and smart grid systems. The Author is largely aware of this limitation and indicates the constraints of his own research procedure, which should be assessed positively.

VI. Polemical remarks and issues requiring further clarification

Despite the high substantive assessment of the dissertation, several issues require further clarification. These remarks are clarifying and polemical in nature and do not undermine the fundamental scientific value of the dissertation.

First, the relationship between the hypotheses, the case studies, and the indicators used for their verification should be harmonized more clearly. This concerns primarily the presentation of Hypothesis 3 and the discrepancy between the TFP value of 4.02 for Blue Lake Rancheria reported in the Polish summary and the English abstract and the TFP values of 1.37 and 1.60 presented in the main analytical part. This issue requires explanation, as TFP is one of the key analytical categories of the dissertation.

Second, in future publication work it would be useful to distinguish somewhat more precisely between the effects resulting from AI and IoT and those resulting from the broader automation of energy systems, including EMS, smart metering, energy storage, PV installations, and infrastructure modernization. Treating AI and IoT as an integrated technological package is understandable in practical terms, but it calls for caution when assigning specific economic effects to individual technological components.

Third, the results obtained in the case studies should be interpreted with due caution. This applies in particular to the adaptation of TFP to the level of a single project, the very high IRR value in the Airtel Madagascar case, and the high price elasticity of demand in the University of Washington case. These findings are cognitively and practically valuable, but their strength lies primarily in demonstrating economic mechanisms rather than in providing statistical generalization for the entire microgrid and smart grid sector.

The dissertation also contains minor editorial and terminological shortcomings, including an unfinished statement concerning the TFP value in the synthesis of results and occasional inconsistency in the use of the terms AI, IoT, ICT, EMS, automation, and smart grid. These shortcomings should be removed before any potential publication of the dissertation, but they do not lower the fundamental substantive value of the work.

VII. Assessment of the formal and linguistic aspects

The dissertation has been prepared in English, which is generally correct, communicative, and appropriate for a scientific work in economics and finance. The Author uses specialist terminology from the fields of energy, economics, finance, and digital technologies. The work is extensive, and its language is at times highly technical, which is understandable given the interdisciplinary nature of the subject.

From a formal point of view, the dissertation has been prepared with care. It contains a clear chapter structure, numerous formulas, tables and figures, as well as an extensive bibliography. The presence of a Polish summary and an English abstract should be assessed

positively. The graphical and tabular elements perform an analytical function and are not merely illustrative.

The issues that may require refinement are mainly the editorial and consistency-related matters indicated earlier: the clear harmonization of Hypothesis 3, the explanation of the discrepancy in the TFP value for Blue Lake Rancheria, the harmonization of terminology, and the refinement of selected conclusions. These remarks are clarifying in nature and do not change the positive assessment of the dissertation.

VIII. Questions to the Candidate

After reading the dissertation, I consider it justified to address the following questions to the Candidate:

1. How does the Candidate define the main contribution of AI and IoT to the economic efficiency of microgrids and smart grids, and how does he distinguish this contribution from the broader automation of energy systems?
2. How should the relationship between the adopted hypotheses, the selected case studies, and the applied economic indicators be understood, particularly with regard to the presentation of Hypothesis 3 and the TFP results for Blue Lake Rancheria?
3. Which findings of the dissertation, in the Candidate's view, have the greatest practical relevance for energy companies, regulators, and investors, and which should be interpreted with caution due to the limitations of the case study method?

IX. Final conclusion

The doctoral dissertation by Mr. Volkmar Walter Kunerth constitutes an interesting, timely, and cognitively valuable study of the economic effects of artificial intelligence and Internet of Things applications in microgrids and smart grids. The work addresses a problem that is important both for science and for business practice, and its greatest value lies in the attempt to translate technological effects into measurable economic categories: productivity, operating costs, investment efficiency, demand response, price elasticity, and the efficiency of market mechanisms.

The analysis conducted in the dissertation allows me to state that the Candidate possesses sound general theoretical knowledge in the discipline of economics and finance, knows basic and advanced categories of economic evaluation of energy investments, and is able to apply them to the analysis of contemporary digital technologies. The dissertation confirms

the Candidate's ability to conduct independent scientific research, formulate a research problem, select research methods, and interpret results in the context of the literature and the practice of the energy sector.

The remarks indicated in this review are clarifying and polemical in nature, not disqualifying. They do not change the positive assessment of the dissertation, which constitutes an original solution to a scientific problem. It would nevertheless be advisable for the Candidate to address selected issues, especially the presentation of Hypothesis 3 and the TFP value for Blue Lake Rancheria, during the public defence or to refine them before any potential publication of the dissertation.

Taking the above into account, I conclude that the doctoral dissertation by Mr. Volkmar Walter Kunerth entitled "Artificial Intelligence and the Internet of Things in Microgrids and Smart Grids: An Economic Analysis of Productivity, Efficiency, and Demand Response to Dynamic Pricing" meets the requirements set out in Article 187(1) and 187(2) of the Act of 20 July 2018 – Law on Higher Education and Science, as it constitutes an original solution to a scientific problem, demonstrates the Candidate's general theoretical knowledge in the discipline of economics and finance, and confirms his ability to conduct independent scientific work.

On this basis, I recommend that the doctoral dissertation be accepted and that Mr. Volkmar Walter Kunerth be admitted to the public defence.

At the same time, taking into consideration the relevance of the research problem, the high cognitive and applied value of the dissertation, the interdisciplinary nature of the research, and the attempt to quantify the economic effects of AI and IoT deployment in the electricity sector, I recommend that the dissertation be recognized as a distinguished doctoral thesis.

Wojciech Drożdż



