

Rekowo Górne, 15 czerwca 2026 r.

dr hab. Henryk Woźniak,
emerytowany profesor UG
b. pracownik w Katedrze Logistyki
i Katedrze Bankowości i Finansów UG,
aktualnie wykładowca w *Wyższej Szkole*
Administracji i Biznesu w Gdyni

RECENZJA

rozprawy doktorskiej
Pana mgr *Volkmara Kunertha*
zatytułowanej

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE INTERNET OF THINGS IN
MICROGRIDS AND SMART GRIDS: AN ECONOMIC ANALYSIS OF
PRODUCTIVITY, EFFICIENCY, AND DEMAND RESPONSE TO
DYNAMIC PRICING**

a w tłumaczeniu na język polski

**SZTUCZNA INTELIGENCJA I INTERNET RZECZY W
MIKROSIECIACH I INTELIGENTNYCH SIECIACH
ENERGETYCZNYCH: ANALIZA EKONOMICZNA
PRODUKTYWNOŚCI, EFEKTYWNOŚCI I REAKCJI POPYTU NA
CENY DYNAMICZNE**

Praca doktorska wykonana pod kierunkiem
prof. dr hab. Przemysława Borkowskiego,

Uwagi wstępne

Ocenę pracy doktorskiej **Pana mgr *Volkmara Kunertha*** wykonano na podstawie pisma *Przewodniczącego Rady Dyscypliny Ekonomia i Finanse Wydziału Ekonomicznego Uniwersytetu Gdańskiego, Pana dr hab. Leszka Czerwonki, prof. UG*, z dnia 9 kwietnia 2026 roku, znak E001.6110.26.2025, który zwrócił się z prośbą o przyjęcie przeze mnie obowiązków recenzenta tej pracy. Praca została zakwalifikowana do **dziedziny nauk społecznych w dyscyplinie ekonomia i finanse**

Recenzja została przygotowana w oparciu o postanowienia **Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.) - art. 187 ust. 1 - 3:** zawierającego następujące wymogi;

1. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.
2. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.
3. Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej."

Na zawartość merytoryczną recenzji pracy doktorskiej **Pana mgr Volkmara Kunertha** składają się:

- 1) *opinia dotycząca trafności wyboru problematyki badawczej, stopnia oryginalności podjętego problemu badawczego, a także naukowego charakteru dysertacji,*
- 2) *ocena sformułowania i realizacji celów badawczych, hipotez i doboru metod badawczych,*
- 3) *ocena struktury pracy i jej wartości merytorycznej,*
- 4) *opinia na temat wiedzy teoretycznej doktoranta w dyscyplinie naukowej, którą zajmował się w dysertacji,*
- 5) *szczegółowe uwagi i spostrzeżenia odnośnie do treści i redakcji pracy,*
- 6) *podsumowanie i konkluzja.*

1. Opinia dotycząca trafności wyboru problematyki badawczej, stopnia oryginalności podjętego problemu badawczego, a także naukowego charakteru dysertacji

Tematyka i zakres badań podjętych przez Pana mgr Volkmara Kunertha są bardzo aktualne, mają ponadto istotny walor poznawczy, co wynika z niżej przedstawionych argumentów merytorycznych.

Sztuczna inteligencja (AI) jest coraz częściej wykorzystywana w sektorze energetycznym i postrzegana jako ogromny potencjał w kształtowaniu przyszłości systemu energetycznego. Klasyczne obszary zastosowań obejmują handel energią elektryczną, inteligentne sieci elektroenergetyczne oraz sprzężenie sektorowe energii elektrycznej, ciepła i transportu. Warunkiem wstępnym dla szerszego wykorzystania

AI w systemie energetycznym jest digitalizacja sektora energetycznego i odpowiednio duża ilość danych, które można analizować i wykorzystać. Analizując i oceniając te wolumeny danych, **AI** pomaga zwiększyć wydajność i bezpieczeństwo sektora energetycznego.

Inteligentne sieci energetyczne to kolejny obszar zastosowań. Sieci te przesyłają nie tylko energię elektryczną, ale także dane. Wraz ze wzrostem popularności elektrowni o zmiennej wydajności, takich jak elektrownie słoneczne i wiatrowe, coraz ważniejsze staje się inteligentne reagowanie generacji na zużycie (*i odwrotnie*). **AI** może pomóc w ocenie, analizie i zarządzaniu danymi pochodzącymi od różnych połączonych uczestników sieci (*odbiorców, producentów, magazynów*). Ponadto, może stabilizować sieci, na przykład wykrywając anomalie w wytwarzaniu, zużyciu lub przesyłach w czasie zbliżonym do rzeczywistego i proponować odpowiednie rozwiązania. **AI** może pomóc w koordynacji prac konserwacyjnych i określaniu optymalnych terminów serwisowania sieci lub poszczególnych systemów. Pozwala to zminimalizować związane z tym koszty, utracone zyski i zakłócenia w działaniu sieci.

USA, Chiny i państwa członkowskie Unii Europejskiej (w szczególności Niemcy i Hiszpania) przodują we wdrażaniu sztucznej inteligencji w inteligentnych sieciach energetycznych i zarządzaniu popytem. **AI** rewolucjonizuje mikrosieci, automatyzując i optymalizując produkcję, magazynowanie oraz zużycie energii w czasie rzeczywistym. Działa jako „mózg” systemu, który precyzyjnie bilansuje lokalne zapotrzebowanie z niestabilnymi odnawialnymi źródłami energii (OZE).

Zastosowanie **AI** w mikrosieciach obejmuje: *optymalizację kosztów, prognozowanie pogody i produkcji, zarządzanie popytem (Demand Response), predykcję awarii*. Umożliwia to także bardziej efektywne zasilanie nowoczesnych centrów danych i infrastruktury obliczeniowej poprzez tworzenie samowystarczalnych mikrosieci.

Wiadomo ponadto, że AI jest kluczem do niemieckiej transformacji energetycznej. Dzięki temu sieć energetyczna utrzymuje stabilność pomimo setek tysięcy zdecentralizowanych instalacji (*farmy słoneczne i wiatrowe oraz pojazdy elektryczne*). Najważniejsze praktyczne zastosowania to: *prognozowanie zapotrzebowania i wytwarzania, konserwacja predykcyjna, automatyzacja obsługi klienta*. Wykorzystując sztuczną inteligencję i chatboty, dostawcy energii i przedsiębiorstwa użyteczności publicznej optymalizują obsługę klienta oraz automatyzują procesy fakturowania i sprzedaży.

Szczegółowe informacje i praktyczne przykłady można przykładowo znaleźć w badaniach **PwC** dotyczących branży energetycznej, a także na stronie **BDEW** (*Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft - Federalne Stowarzyszenie Przemysłu Energetycznego i Wodnego*).

Znany powszechnie **Instytut Fraunhofera** prowadzi intensywne badania nad inteligentnymi sieciami energetycznymi (*Smart Grids*), aby sprostać transformacji energetycznej w Niemczech. W tej dziedzinie działa kilka wyspecjalizowanych instytutów **Fraunhofer-Gesellschaft**; Instytut Fraunhofera ds. Gospodarki Energetycznej i Technologii Systemów Energetycznych (*Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik - IEE*), Instytut Fraunhofera ds. Systemów Energii Słonecznej (*Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme – ISE*), Instytut Fraunhofera ds. Badań Systemowych i Innowacji (*Fraunhofer-Institut für Systemforschung und Innovation - ISI*).¹

Zastanawiałem się w związku z tym, co było powodem rezygnacji Pana Volkmar Kunertha z wykorzystania bogatych doświadczeń i dorobku energetyki niemieckiej i sięgnięcie do przykładów prezentowanych w dysertacji. Przecież hasło *ENERGIEWENDE* było i jest nośnym problemem od lat...² Autor potwierdza to na stronach 98 i 99, pokazując dokonania wybranych firm niemieckich w produkcji wybranych elementów infrastruktury energetycznej, czy organizując wywiady z pracownikami *SIEMENSA*.

W świetle przedstawionych argumentów trafność doboru tematu rozprawy i użyteczność prezentowanych w niej badań nie budzą wątpliwości. Na jej oryginalność wskazuje potrzeba takich opracowań dla zrozumienia zmian jakościowych, generowanych przez nowe technologie na współczesnym rynku elektroenergetycznym.

2. Ocena sformułowania i realizacji celów badawczych, hipotez i doboru metod badawczych

Warunki dostaw energii elektrycznej ulegają wahaniom ze względu na integrację większej liczby OZE, więc ekonomia odgrywa kluczową rolę w ocenie tych wyzwań

¹ Por.; Sven Ullrich; Fraunhofer ISE testet Stromnetz der Zukunft in Echtzeit.. 14.07.2021 |

² Por.; 1. Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende. Bundesministerium fuer Wirtschaft und Energie. 29.08.2016

2. Intelligente Netze und die Digitalisierung der Energiewende. Smart Grids und Smart Meter. Bundesministerium fuer Wirtschaft und Energie.

rynkowych. Potrzebne są wyniki badań, które mogą pomóc *prawodawcom, decydentom, inwestorom i dostawcom technologii* w podejmowaniu świadomych i racjonalnych decyzji i umożliwienia klientom odpowiednich korzyści ekonomicznych.

Przedłożona dysertacja wychodzi naprzeciw tym wyzwaniom. ***Analizuje wpływ sztucznej inteligencji i Internetu Rzeczy na skutki ekonomiczne produkcji, podaży, popytu i cen w szerszym wymiarze sektora elektroenergetycznego.***

Celem badań jest swojego rodzaju projektowanie przyszłości rynków energii elektrycznej poprzez wykorzystanie właściwych teorii ekonomicznych i przejście od tradycyjnych modeli monopolistycznych podaży do modelu konkurencyjnego rynku energii opartego na sieciach inteligentnych.

Autor wyeksponował w rozprawie trzy zagadnienia:

- optymalizację produkcji energii odnawialnej i rozproszonej za pomocą *sztucznej inteligencji i Internetu Rzeczy* w mikrosieciach i rozproszonych aktywach energetycznych,
- problem poprawy wskaźników finansowych i efektywności dzięki wdrażaniu nowych technologii;
- kreację bardziej konkurencyjnych struktur rynkowych.

Odczuwalny jest brak ujednoliconych ram ekonomiczno-technicznych umożliwiających holistyczną ocenę wpływu sztucznej inteligencji (AI) i Internetu Rzeczy (IoT) na sektor elektroenergetyczny, co stanowi istotną lukę w wiedzy. Istniejące badania często koncentrują się na jednym wskaźniku (*np. takim jak LCOE*) lub jednym kontekście, nie uwzględniając powiązanych ze sobą efektów dla efektywności produkcji (TFP), opłacalności inwestycji (IRR) oraz ich wpływu na ewolucję struktur rynkowych z monopolistycznych na bardziej konkurencyjne.

Zamiarem Autora było wypełnienie tej luki i zbadanie, w jaki sposób AI i IoT przekształcają ramy ekonomiczne i wpływają na dynamikę społeczną w sektorze energetyki elektrycznej.

Tymczasem szczegółowe badania inżynierskie dostarczają informacji na temat tego, jak *architektura, możliwości techniczne i funkcjonalność sztucznej inteligencji (AI) i Internetu Rzeczy (IoT)* zwiększają niezawodność i efektywność systemów energetycznych. Prace inżynierskie z reguły nie przekładają jednak wyników badań technicznych na mierzalne wyniki ekonomiczne.

Generalnym problemem dysertacji było więc znalezienie odpowiedzi na pytanie, w jakim stopniu **AI** i **IoT** wpływają na ekonomikę produkcji i dystrybucji energii

elektrycznej oraz zachowania konsumentów na rynku. W tym celu Autor wyodrębnił trzy odrębne ramy ekonomiczne, w obrębie których sformułował szczegółowe problemy badawcze.

1. *W zakresie efektywności operacyjnej i inwestycyjnej badanie dowodzi, jak integracja technologii AI i IoT wpływa na wydajność produkcyjną, koszty i zwroty z inwestycji w mikrosieciach. Innymi słowy, czy optymalizacja oparta na danych może przynieść mierzalną poprawę całkowitej produktywności czynników produkcji (TFP) i wyników finansowych (IRR, LCOE), weryfikując założenia hipotezy 1.*
2. *Badanie analizuje rolę AI i IoT w zarządzaniu i integracji zmiennych odnawialnych źródeł energii. Chodzi o zmiany struktur rynkowych - od scentralizowanych, monopolistycznych - w kierunku konkurencyjnych systemów energetycznych, (zgodnie z hipotezą 2).*
3. *Badanie analizuje zarządzanie popytem, wykazując, w jaki sposób AI i IoT umożliwiają wdrażanie strategii dynamicznego ustalania cen i reakcji na popyt, optymalizacji profili obciążenia sieci i wpływu na zachowania konsumentów. Chodzi o mechanizmy leżące u podstaw ewolucji rynku (weryfikacja hipotezy 3).*

W dysertacji sformułowano **trzy hipotezy**, które zostały zweryfikowane w rozdziale 4 poprzez analizę czterech wybranych studiów przypadku. Założenia poszczególnych hipotez są następujące;

1. **Hipoteza 1 (H1):** Integracja sztucznej inteligencji (AI) i Internetu Rzeczy (IoT) zwiększa efektywność operacyjną i obniża koszty w mikro sieciach, co prowadzi do poprawy **całkowitej produktywności czynników produkcji (TFP)**. W tym celu w rozprawie rozwinięto teorię produkcji, uznając AI i IoT za specyficzne, mierzalne i krytyczne czynniki produkcji, i uwzględniono technologie informacyjne jako odrębny czynnik produkcji.
2. **Hipoteza 2 (H2):** Technologie AI i IoT odgrywają kluczową rolę w integracji zmiennej energii odnawialnej i wspieraniu ewolucji struktur rynkowych w kierunku struktur konkurencyjnych. Autor przypomniał tutaj klasyczne teorie monopolu w warunkach konkurencji, a w szczególności neoklasyczne modele ekonomiczne, które charakteryzują struktury rynkowe od monopolu naturalnego do konkurencji doskonałej.
3. **Hipoteza 3 (H3):** AI i IoT zwiększają skuteczność strategii zarządzania popytem (DSM), w tym reakcji na popyt (DR) i cen opartych na czasie użytkowania, ułatwiając tym samym bardziej efektywną alokację energii elektrycznej z OZE. Autor nawiązał tutaj do teorii zachowania konsumentów, sygnałów cenowych i lansowanej przez niektórych ekonomistów – teoretyków, ekonomii dobrobytu. Zgodnie z przyjętymi tutaj założeniami technologie sztucznej inteligencji i Internetu rzeczy (IoT) stymulują transformację rynku w kierunku struktur o większej elastyczności cenowej.

Aby zweryfikować (przetestować) hipotezy dotyczące efektywności operacyjnej i inwestycyjnej w przypadku mikrosieci, w dysertacji zaprezentowano wyniki obliczeń całkowitej produktywności czynników (TFP), uśrednionego kosztu energii (LCOE) oraz wewnętrznej stopy zwrotu (IRR).

Aby zweryfikować (przetestować) hipotezy dotyczące transformacji rynku i zarządzania popytem w przypadku inteligentnych sieci, w analizie skoncentrowano się na obliczeniu elastyczności cenowej popytu i ilościowym określeniu redukcji tzw. obciążenia szczytowego.

Wykorzystanie zasobów niezbędnych do analizy danych z rzetelnych i wiarygodnych źródeł oraz właściwego doboru metod analitycznych umożliwiło Autorowi ocenę oddziaływania ekonomicznego technologii **AI** i **IoT** w odniesieniu do warunków konkretnych, wybranych przypadków. **Należy zatem ocenić dobór metod badawczych jako prawidłowy.**

3) Ocena struktury pracy i jej wartości merytorycznej

Przedłożona dysertacja składa się z czterech rozdziałów o merytorycznie uporządkowanej strukturze, która prezentuje historyczne, ekonomiczne, technologiczne i praktyczne aspekty badań.

Rozdział 1 pokazuje szeroką panoramę problemów, istotnych dla dalszych wywodów, czy konkretnego wykorzystania w kolejnych rozdziałach dysertacji. opisując rolę automatyzacji i energetyki w czterech rewolucjach przemysłowych. Autor wykazał, że innowacje technologiczne napędzały produktywność elektroenergetyki w gospodarce, co wykazał na przykładach w pkt. 1.3. Sięgnięcie do teorii klasycznej i neoklasycznej teorii produkcji, oraz charakterystyki mierników przydatnych w analizie inwestycyjnej (LCOE, NPV, IRR) było konieczne w celu ich wykorzystania w rozdziale głównym. **Całkowita produktywność czynników produkcji (TFP)** jako miary efektywności stała się w tym przypadku kluczowym elementem odniesienia.

Teorie rynkowe monopolu, konkurencji i zachowania konsumentów, istotnych dla transformacji rynków energii elektrycznej – stanowią ważne uzupełnienie rozważań w rozdziale pierwszym. Autor nie poruszył jednak, ważnego na rynku elektroenergetycznym – **aspektu zawodności rynku (market failure)** i związanych z tym problemów regulacyjnych.

W **rozdziale 2** kluczowe znaczenie ma **pkt. 2.3.**, opisujące kluczowe technologie, stymulujące transformację sektora elektroenergetycznego. W tej części rozdziału zdefiniowano *Internet Rzeczy (IoT)* i *Sztuczną Inteligencję (AI)*, wyjaśniając ich podstawową architekturę i funkcjonalności. Skoncentrowano się na ich wykorzystaniu w elektroenergetyce, argumentując, że połączenie możliwości gromadzenia danych *IoT* z potencjałem analitycznym *AI* jest niezbędnym warunkiem wstępnym do zarządzania nowoczesnym, zdecentralizowanym i konkurencyjnym systemem energetycznym. Punkty 2.1. i 2.2. uzasadniają rolę energii jako czynnika produkcji w gospodarce globalnej oraz opis historycznej transformacji systemu od scentralizowanego do systemu coraz bardziej rozproszonego, z wykorzystaniem OZE mają tutaj w zasadzie charakter uzupełniający.

W **rozdziale 3** Autor zaprezentował ramy metodologiczne doboru studiów przypadku. Opisał analityczne i metodologiczne podstawy oceny wpływu *AI* i *IoT* na produktywność, efektywność i strukturę kosztów w inteligentnych sieciach i mikrosieciach. Wyjaśnił istotę projektu badawczego - dysertacji, źródła danych i metodologię studiów przypadku, wybraną do ilościowego określenia efektów ekonomicznych systemów energetycznych wykorzystujących *IoT* i *AI*. Interesującym potwierdzeniem jest zbiór danych przedstawionych w tabeli 13, zatytułowanej „*Wyniki meta-badań mikrosieci dotyczących efektywności ekonomicznej*” (TABLE 13 RESULTS OF MICROGRID META-STUDIES ON ECONOMIC EFFICIENCY) z opisem przypadków potwierdzających zasadność i ekonomiczność stosowania analizowanych w dysertacji technologii.

W istotnym punkcie dysertacji 3.2., Autor uzasadnia metodologię wyboru studiów przypadku, aby zapewnić potwierdzenie efektów ekonomicznych ze stosowania *AI* i *IoT* w mikrosieciach i sieciach inteligentnych. Autorowi chodziło o dostęp do kompleksowych, potrzebnych zestawów danych, dostosowanych do konkretnych ram analitycznych prowadzonych badań (*por.; tablica 14 dysertacji*). Tłumaczy, że proces gromadzenia danych został dostosowany do każdego studium przypadku, aby zapewnić wiarygodny, kontekstowo istotny, zbiór niezbędnych danych do testowania hipotez **Stąd – jak widać w analizie – dobór przypadków mocno rozproszonych geograficznie.**

Rozdział 4 stanowi kluczowy fragment rozprawy doktorskiej. Stanowi *sui generis* ukoronowanie wysiłku intelektualnego Doktoranta. Wykorzystano w nim wcześniej prezentowane założenia teoretyczne w odniesieniu do czterech wybranych studiów

przypadku. W rezultacie stał się „poligonem” do weryfikacji (testowania) sformułowanych na wstępie trzech hipotez, dotyczących *efektywności, struktury rynku i inwestycji*.

W analizie mikrosieci **BLUE LAKE RANCHERIA** i **AIRTEL MADAGASCAR** zbadano zmiany w efektywności operacyjnej i poziomie zwrotu z inwestycji po wdrożeniu **AI** i **IoT**. Analiza projektu demonstracyjnego **OLYMPIC PENINSULA** i pilotażowych programów cenowych **CALIFORNIA STATEWIDE TOU PRICING PILOTS** pokazała z kolei transformację rynku i zarządzanie popytem (*elastyczność cenowa popytu*) możliwe dzięki **AI** i **IoT**.

Bardzo ważnym fragmentem dysertacji jest dokonane przez Doktoranta podsumowanie wyników badań i ich zbiorcza synteza w *tablicy 27 (RESULTS OF HYPOTHESIS TESTING – s. 174)*. Autor ocenił tutaj dowody z analiz przypadków w kontekście każdej z trzech przyjętych hipotez. Zaprezentował także wnioski płynące z przeprowadzonych analiz dla *teorii ekonomii, polityki publicznej i praktyki przemysłowej*. Ważne, że nie unikał kwestii dyskusyjnych, mając świadomość złożonych i zróżnicowanych wyzwań rynkowych.

4) Opinia na temat wiedzy teoretycznej doktoranta w dyscyplinie naukowej, którą zajmował się w dysertacji

Doktorant udowodnił w prezentowanej dysertacji, że wychodzi naprzeciw sugestiom Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA), która jest przekonana o konieczności ewolucji rynków energii elektrycznej, aby mogły sprostać rosnącym wymaganiom i stymulowały konieczne inwestycje w sektorze. Transformacja tego sektora, związana z rosnącym udziałem OZE i wzrostem zapotrzebowania na prąd, wymusza ewolucję modeli rynkowych. Raport IEA podkreśla, że skuteczne mechanizmy rynkowe są niezbędne do zapewnienia *bezpieczeństwa dostaw, efektywności operacyjnej i odpowiednich sygnałów inwestycyjnych*. Dokładna wiedza o nowych trendach na rynkach energii elektrycznej wymaga *zrozumienia złożonych mechanizmów, znajomości nowoczesnych technologii oraz gotowości do ciągłego analizowania danych w czasie rzeczywistym*.

Pan **mgr Volkmar Kunerth** udowodnił w dysertacji, że dysponuje złożoną i wielowarstwową wiedzą, uwarunkowaną koniecznością holistycznego podejścia do rozwoju i ewolucji rynku energii elektrycznej, związanej z wdrażaniem nowych,

rewolucyjnych technologii. Integracja **AI** i **IoT** tworzy bowiem ekosystemy zdolne do autonomicznego zarządzania zasobami. Technologie te rewolucjonizują infrastrukturę sieciową, automatyzując procesy, przewidując awarie i optymalizując przepływ danych w czasie rzeczywistym.

Należy dodać, że włączenie do analizy *elementów teorii produkcji, podstaw decyzji inwestycyjnych i mechanizmów funkcjonowania rynku* oraz ukazanie ich wzajemnych powiązań wymagało od Doktoranta wszechstronnej i rozległej wiedzy. Autor rozwinął w rozprawie teorię produkcji, uznając **AI** i **IoT** za specyficzne, mierzalne i krytyczne czynniki produkcji.

5. Szczegółowe uwagi i spostrzeżenia odnośnie do treści i redakcji pracy,

1. Na początku lektury dysertacji pojawia się pytanie, czy pkt 1.1. nie powinien nosić nazwy „*Procesy innowacji w sektorze elektroenergetycznym*”, co ma bezpośredni związek ze spadkiem energochłonności w gospodarce. Te skutki innowacji opisano oddzielnie w pkt. 1.3. dysertacji.
2. Przeprowadzone przez Doktoranta badania dotyczą projektów z bardzo zróżnicowanych lokalizacji geograficznych; z krajów wysoko rozwiniętych i rozwijających się, z różnorodnymi strukturami rynkowymi i modelami własności. Miało to uzasadnić właściwe wnioskowanie przyczynowe i możliwie szerokie wykorzystanie ustaleń. Mamy więc dwie strony medalu; z jednej strony ciekawy wybór projektów, z drugiej zaś *problem skalowalności* w procesie wdrażania pozytywnie zweryfikowanych rozwiązań w różnych warunkach gospodarczych i wielkości koniecznych inwestycji. *Jak Doktorant widzi ten problem?*
3. Pomimo zastosowania wskaźników, takich jak **TFP**, **IRR**, **LCOE** i *dynamiczna elastyczność popytu*, jednoznaczne ustalenie związku przyczynowo - skutkowego między wdrożeniem technologii **AI** i **IoT**, a skalą wyników ekonomicznych ma pewne ograniczenia ze względu na potencjalny wpływ zmiennych (*np. czynniki ekonomiczne, polityczne klimatyczne, geograficzne*). *Jak Doktorant widzi w tym kontekście problem „cen różnicowych”, szczególnie w przypadku inwestycji off-shore, i jaka jest przydatność miernika LCOE w sytuacji koniecznych, dużych inwestycji w sieci wysokiego napięcia zapewniające transmisję „zielonej energii” z lokalizacji morskich do odległych regionów?*

4. Koncepcja dynamicznego ustalania cen polegająca na dostosowywaniu cen energii elektrycznej w czasie rzeczywistym w oparciu o warunki podaży i popytu była dość dawno testowana w warunkach niemieckich. *Jakie wnioski sformułowano na podstawie tych badań i polityki wdrażania i jak wygląda to w konfrontacji z wynikami analizy w dysertacji ?*

(Ciekawe publikacje na ten temat to; 1. M. Wettingfeld, S. Meemken, F. Zerzawy unter Mitarbeit von Hana von Looock und Selina Surek; **WIE VERBRAUCHERFREUNDLICH SIND DYNAMISCHE UND VARIABLE STROMTARIFE?** Gutachten des Forum Ökologisch Soziale Marktwirtschaft e.V. im Auftrag des Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. 30. Oktober 2024.

2. Manfred Krause; **Dynamische Stromtarife: Neue Chancen für Haushalte und Unternehmen ab 2025.** 30 Januar 2025 (<https://sonnstrom.de/dynamische-stromtarife/>),

3. **Pflicht ab 2025: Wie dynamische Tarife die Energiebranche verändern.** 10. Januar 2025 (<https://www.eoptimum.de/news/pflicht-ab-2025-dynamische-tarife/>)

Podsumowanie i konkluzja

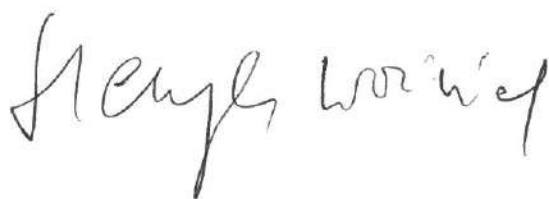
Doktorant sformułował w dysertacji w sposób przekonujący cel główny i skutecznie zweryfikował sformułowane hipotezy badawcze. Analiza czterech przypadków – mikrosieci **Blue Lake Rancheria**, systemów energetycznych **Airtel Madagascar**, projektu demonstracyjnego **Olympic Peninsula** oraz kalifornijskich pilotaży taryf czasowych (**Time-of-Use pricing - TOU**) – dostarczyła przekonujących dowodów empirycznych potwierdzających sformułowane przez Doktoranta hipotezy. Uzyskane w obliczeniach wyniki potwierdziły poprawę efektywności operacyjnej. Z analizy wynika również, że dynamiczne mechanizmy cenowe wspierane przez *technologie smart grid* skutecznie kształtują popyt, potwierdzając rolę **AI** i **IoT** w tworzeniu bardziej konkurencyjnych i efektywnych rynków energii.

Dysertacja potwierdziła, że integracja **AI** i **IoT** przynosi wymierne korzyści ekonomiczne, zwiększając produktywność, opłacalność inwestycji oraz efektywność rynkową. Stąd wniosek, że integracja technologii **AI** i **IoT** oferuje potencjał do rozwiązania problemów związanych z ograniczoną racjonalnością na rynkach energii elektrycznej. Umożliwia konsumentom automatyzację dostosowywania zużycia energii w reakcji na sygnały cenowe w czasie rzeczywistym.

W świetle przedstawionych rozważań praca Pana mgr Volkmara Kunertha odpowiada – traktując ją w ujęciu systemowym, standardom i wymogom dysertacji

naukowej. Rozprawa, w mojej ocenie, spełnia warunki określone w *Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.) - art. 187 ust. 1-3. W związku z tym opowiadam się za skierowaniem recenzowanej pracy do dalszego postępowania kwalifikacyjnego.

Henryk Woźniak



22 06 2026

Rekowo Górne, June 20th, 2026

Henryk Woźniak, Ph.D.,

Assoc. Professor Emeritus at the University of Gdańsk
former faculty member at the Department of Logistics
and the Department of Banking and Finance at the University of Gdańsk,
currently a lecturer at *the College*
of Administration and Business in Gdynia

REVIEW

of the doctoral dissertation
by **Mr. Volkmar Kunerth, M.A.**
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**

and translated into Polish as

**SZTUCZNA INTELIGENCJA I INTERNET RZECZY W
MIKROSIECIACH I INTELIGENTNYCH SIECIACH
ENERGETYCZNYCH: ANALIZA EKONOMICZNA
PRODUKTYWNOŚCI, EFEKTYWNOŚCI I REAKCJI POPYTU NA
CENY DYNAMICZNE**

Doctoral dissertation supervised by
Assoc.Prof. Przemysław Borkowski, Ph.D.,

Preliminary Remarks

The evaluation of the doctoral dissertation by **Mr. Volkmar Kunerth, M.A.**, was conducted on the basis of a letter *from the Chair of the Discipline Council for Economics and Finance at the Faculty of Economics, University of Gdańsk, Dr. hab. Leszek Czerwonka, Prof. UG*, dated April 9, 2026, ref. no. E001.6110.26.2025, who requested from me the duties of a reviewer for this thesis. The thesis has been classified under ***the field of social sciences in the discipline of economics and finance.***

This review was prepared in accordance with the provisions **of the Act of July 20, 2018, on Higher Education and Science (Dz.U. 2024, item 1571, as amended) – Article 187, paragraphs 1–3**, which sets forth the following requirements:

1. The doctoral dissertation demonstrates the candidate's general theoretical knowledge in a discipline or disciplines and the ability to independently conduct scientific or artistic research.
2. The subject of the doctoral dissertation is an original solution to a scientific problem, an original application of the results of the candidate's own scientific research in the economic or social sphere, or an original artistic achievement.
3. A doctoral dissertation may take the form of a written work, including a scientific monograph, a collection of published and thematically related scientific articles, a design, engineering, technological, implementation, or artistic project, as well as an independent and distinct part of a collective work."

The substantive content of the review **of Mr. Volkmar Kunerth's** doctoral dissertation consists of:

- 1) *an assessment of the appropriateness of the chosen research topic, the degree of originality of the research problem addressed, and the scientific nature of the dissertation,*
- 2) *an evaluation of the formulation and implementation of the research objectives, hypotheses, and selection of research methods,*
- 3) *an evaluation of the thesis's structure and its substantive value,*
- 4) *an assessment of the doctoral candidate's theoretical knowledge in the scientific discipline which was the subject of the dissertation,*
- 5) *detailed comments and observations regarding the content and editing of the dissertation,*
- 6) *summary and conclusion.*

1. An opinion on the appropriateness of the choice of research topic, the degree of originality of the research problem addressed, and the scientific nature of the dissertation

*The subject matter and scope of the research undertaken by **Mr. Volkmar Kunerth, M.A.**, are highly relevant; furthermore, they possess significant cognitive value, as evidenced by the substantive arguments presented below.*

Artificial intelligence (AI) is increasingly used in the energy sector and is viewed as having enormous potential for shaping the future of the energy system. Classic areas of application include electricity trading, smart grids, and the integration of the electricity, heating, and transportation sectors. A prerequisite for the wider use **of AI** in

the energy system is the digitization of the energy sector and a sufficiently large volume of data that can be analyzed and utilized. By analyzing and evaluating these data volumes, **AI** helps increase the efficiency and security of the energy sector.

Smart grids are another area of application. These grids transmit not only electricity but also data. As the popularity of variable-output power plants, such as solar and wind farms, grows, it is becoming increasingly important for generation to respond intelligently to consumption (*and vice versa*). **AI** can help evaluate, analyze, and manage data from various connected grid participants (*consumers, producers, storage facilities*). Furthermore, it can stabilize the grid, for example, by detecting anomalies in generation, consumption, or transmission in near-real time and proposing appropriate solutions. **AI** can help coordinate maintenance work and determine optimal schedules for servicing the grid or individual systems. This helps minimize associated *costs, lost revenue, and disruptions to grid operations*.

The United States, China, and European Union member states (particularly Germany and Spain) are leading the way in implementing artificial intelligence in smart grids and demand response. **AI** is revolutionizing microgrids by automating and optimizing energy production, storage, and consumption in real time. It acts as the “brain” of the system, precisely balancing local demand with intermittent renewable energy sources (*RES*).

The application of **AI** in microgrids includes: *cost optimization, weather and production forecasting, demand response, and failure prediction*. It also enables more efficient power supply to modern data centers and computing infrastructure by creating self-sufficient microgrids.

It is also well known that AI is key to Germany's energy transition. Thanks to AI, the power grid maintains stability despite hundreds of thousands of decentralized installations (*solar and wind farms, as well as electric vehicles*). The most important practical applications include: *demand and generation forecasting, predictive maintenance, and customer service automation*. By using *artificial intelligence and chatbots*, energy suppliers and utilities are optimizing customer service and automating billing and sales processes.

Detailed information and practical examples can be found, for instance, in **PwC's** research on the energy sector, as well as on the **BDEW** website (*Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft – the Federal Association of the Energy and Water Industries*).

The well-known **Fraunhofer Institute** is conducting intensive research on smart grids to support Germany's energy transition. Several specialized institutes **of the Fraunhofer-Gesellschaft** are active in this field: *the Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology (Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik – IEE)*, *the Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme – ISE)*, *and the Fraunhofer Institute for Systems Research and Innovation (Fraunhofer-Institut für Systemforschung und Innovation – ISI)*.¹

In light of this, I wondered what led Mr. Volkmar Kunerth to forgo drawing on the wealth of experience and achievements of the German energy sector and instead refer to the examples presented in his dissertation. After all, the term “ENERGIEWENDE” has been a prominent issue for years...² The author confirms this on pages 98 and 99, highlighting the achievements of selected German companies in the production of specific energy infrastructure components and conducting interviews with Siemens employees.

In light of the arguments presented, *the appropriateness of the dissertation's topic and the usefulness of the research presented therein* are beyond doubt. Its originality is underscored by the need for such studies to understand the qualitative changes brought about by new technologies in the contemporary electricity market.

2. Evaluation of the Formulation and Implementation of Research Objectives, Hypotheses, and the Selection of Research Methods

Electricity supply conditions fluctuate due to the integration of more renewable energy sources, so economics plays a key role in assessing these challenges and market dynamics. Research findings are needed that can help *legislators, policymakers, investors, and technology providers* make informed and rational decisions and enable customers to reap appropriate economic benefits.

¹ See: Sven Ullrich; Fraunhofer ISE Tests the Power Grid of the Future in Real Time. July 14, 2021 |

² See also: First Act on the Digitalization of the Energy Transition. Federal Ministry for Economic Affairs and

Energy. August 29, 2016

2. Smart Grids and the Digitalization of the Energy Transition. Smart Grids and Smart Meters. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.

This dissertation addresses these challenges. ***It analyzes the impact of artificial intelligence and the Internet of Things on the economic effects of production, supply, demand, and prices across the broader electricity sector.***

The aim of the research is to, in a sense, design the future of electricity markets by applying relevant economic theories and transitioning from traditional monopolistic supply models to a competitive energy market model based on smart grids.

In the dissertation, the author highlights three issues:

- optimization of renewable and distributed (dispersed) energy production using *artificial intelligence and the Internet of Things* in microgrids and distributed energy assets,
- the challenge of improving financial indicators and efficiency through the implementation of new technologies;
- the creation of more competitive market structures.

There is a noticeable lack of a unified economic-technical framework that would enable a holistic assessment of the impact of artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) on the electric power sector, which constitutes a significant knowledge gap. Existing studies often focus on a single indicator (e.g., LCOE) or a single context, without taking into account the interrelated effects on total factor productivity (TFP), investment profitability (IRR), and their impact on the evolution of market structures from monopolistic to more competitive ones.

The author's intention was to fill this gap and examine how AI and IoT are transforming the economic framework and influencing social dynamics in the electric power sector.

Meanwhile, detailed engineering studies provide insights into how *the architecture, technical capabilities, and functionality of artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT)* enhance the reliability and efficiency of energy systems. However, engineering studies generally do not translate technical research findings into measurable economic outcomes.

The overarching problem addressed in this dissertation was therefore to determine the extent to which **AI** and **IoT** influence the economics of energy production and distribution as well as consumer behavior in the market. To this end, the author identified *three distinct economic frameworks* within which he formulated specific research questions.

1. *In terms of operational and investment efficiency, the study demonstrates how the integration of AI and IoT technologies affects production efficiency, costs,*

and returns on investment in microgrids. In other words, can data-driven optimization bring about a measurable improvement in total factor productivity (TFP) and financial performance (IRR, LCOE), thereby verifying the assumptions of Hypothesis 1?

2. The study analyzes the role of AI and IoT in managing and integrating variable renewable energy sources. It addresses changes in market structures - from centralized, monopolistic systems - toward competitive energy systems (in accordance with Hypothesis 2).
3. The study analyzes demand management, demonstrating how AI and IoT enable the implementation of strategies for dynamic pricing and demand response, the optimization of grid load profiles, and the influence on consumer behavior. It focuses on the mechanisms underlying market evolution (verification of Hypothesis 3).

The dissertation formulates **three hypotheses**, which were tested in Chapter 4 through an analysis of four selected case studies. The assumptions underlying each hypothesis are as follows:

1. **Hypothesis 1 (H1):** The integration of artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) increases operational efficiency and reduces costs in microgrids, leading to an improvement **in total factor productivity** (TFP). To this end, this dissertation expands upon production theory by recognizing AI and IoT as specific, measurable, and critical factors of production, and by treating information technology as a separate factor of production.
2. **Hypothesis 2 (H2):** AI and IoT technologies play a key role in integrating variable renewable energy and supporting the evolution of market structures toward competitive structures. Here, the author recalled classical theories of monopoly under conditions of competition, and in particular neoclassical economic models that characterize market structures ranging from natural monopoly to perfect competition.
3. **Hypothesis 3 (H3):** AI and IoT increase the effectiveness of demand-side management (DSM) strategies, including demand response (DR) and time-of-use pricing, thereby facilitating a more efficient allocation of electricity from renewable energy sources. Here, the author refers to consumer behavior theory, price signals, and - as advocated by some economists and theorists - welfare economics. According to the assumptions adopted here, artificial intelligence and Internet of Things (IoT) technologies stimulate the market's transformation toward structures with greater price flexibility.

To verify (test) hypotheses regarding operational and investment efficiency in the case of microgrids, the dissertation presents the results of calculations of total factor productivity (TFP), levelized cost of energy (LCOE), and internal rate of return (IRR).

To verify (test) hypotheses regarding market transformation and demand management in the case of smart grids, the analysis focused on calculating the price elasticity of demand and quantifying the reduction in so-called peak load.

The use of resources necessary for analyzing data from reliable and credible sources, along with the appropriate selection of analytical methods, enabled the author to assess the economic impact of **AI** and **IoT** technologies in relation to the specific conditions of selected case studies. ***The selection of research methods should therefore be considered appropriate.***

3) Evaluation of the Thesis's Structure and Substantive Value

The submitted dissertation consists of four chapters with a logically organized structure that presents the historical, economic, technological, and practical aspects of the research.

Chapter 1 provides a broad overview of issues relevant to further discussion or specific application in subsequent chapters of the dissertation, describing the role of automation and the energy sector in the four industrial revolutions. The author demonstrated that technological innovations drove the productivity of the power sector in the economy, as illustrated by the examples in section 1.3. Drawing on classical and neoclassical production theory, as well as the characteristics of metrics useful in investment analysis (*LCOE*, *NPV*, *IRR*), was necessary for their application in the main chapter. **Total Factor Productivity (TFP)**, as a measure of efficiency, became a key reference point in this case.

Market theories of monopoly, competition, and consumer behavior - which are relevant to the transformation of electricity markets - serve as an important complement to the discussions in Chapter 1. *However, the author did not address the issue of market failure - a critical aspect of the electricity market - and the related regulatory challenges.*

In **Chapter 2, Section 2.3** is of key importance, as it describes the key technologies driving the transformation of the electric power sector. This section of the chapter defines the *Internet of Things (IoT)* and *Artificial Intelligence (AI)*, explaining their basic architecture and functionalities. The focus is on their application in the power sector, arguing that combining the data-collection capabilities **of IoT** with the analytical potential **of AI** is an essential prerequisite for managing a modern, decentralized, and

competitive energy system. Sections 2.1 and 2.2, which justify the role of energy as a factor of production in the global economy and describe the historical transformation of the system from a centralized one to an increasingly distributed system utilizing renewable energy sources, are essentially supplementary in nature here.

In **Chapter 3**, the author presented the methodological framework for selecting case studies. He described the analytical and methodological foundations for assessing the impact of **AI** and **IoT** on productivity, efficiency, and cost structure in smart grids and microgrids. He explained the essence of the research project - the dissertation - as well as the data sources and case study methodology selected to quantitatively determine the economic effects of energy systems utilizing **IoT** and **AI**. An interesting confirmation is provided by the dataset presented in Table 13, titled "*Results of Microgrid Meta-Studies on Economic Efficiency*" (**TABLE 13 RESULTS OF MICROGRID META-STUDIES ON ECONOMIC EFFICIENCY**), which includes case studies confirming the validity and economic viability of the technologies analyzed in the dissertation.

In a key section of the dissertation (3.2), the author justifies the methodology for selecting case studies to ensure that the economic effects of using **AI** and **IoT** in microgrids and smart grids are confirmed. The author's aim was to gain access to comprehensive, relevant datasets tailored to the specific analytical framework of the research (see *Table 14 in the dissertation*). He explains that the data collection process was tailored to each case study to ensure a reliable, contextually relevant set of data necessary for testing the hypotheses. ***Hence - as can be seen in the analysis - the selection of cases that are geographically widely dispersed.***

Chapter 4 constitutes a key section of the doctoral dissertation. It represents, *sui generis*, the culmination of the doctoral candidate's intellectual effort. In this chapter, the previously presented theoretical assumptions were applied to the four selected case studies. As a result, it became a "testing ground" for verifying (testing) the three hypotheses formulated in the introduction, concerning *efficiency*, *market structure*, and *investment*.

The analysis of the **BLUE LAKE RANCHERIA** and **AIRTEL MADAGASCAR** microgrids examined changes in operational efficiency and return on investment following the implementation of **AI** and **IoT**. The analysis of the **OLYMPIC PENINSULA** demonstration project and **the CALIFORNIA STATEWIDE TOU**

PRICING PILOTS, in turn, revealed market transformation and demand management (*price elasticity of demand*) made possible by **AI** and **IoT**.

A very important part of the dissertation is the doctoral candidate's summary of the research findings and their comprehensive synthesis in *Table 27 (RESULTS OF HYPOTHESIS TESTING – p. 174)*. Here, the author evaluated the evidence from the case studies in the context of each of the three hypotheses. He also presented the implications of the analyses for *economic theory, public policy, and industrial practice*. Importantly, he did not shy away from controversial issues, recognizing the complex and diverse market challenges.

4) Opinion on the doctoral candidate's theoretical knowledge in the scientific discipline addressed in the dissertation,

In the presented dissertation, the doctoral candidate demonstrated that he addresses the recommendations of *the International Energy Agency (IEA)*, which is convinced of the need for electricity markets to evolve so that they can meet growing demands and stimulate necessary investments in the sector. The transformation of this sector, driven by the growing share of renewable energy sources and rising electricity demand, is forcing market models to evolve. The IEA report emphasizes that effective market mechanisms are essential to ensure *security of supply, operational efficiency, and appropriate investment signals*. A thorough understanding of new trends in electricity markets requires *an understanding of complex mechanisms, knowledge of modern technologies, and a readiness to continuously analyze data in real time*.

In his dissertation, **Volkmar Kunerth, M.A.**, demonstrated that he possesses comprehensive and multifaceted knowledge, driven by the need for a holistic approach to the development and evolution of the electricity market, particularly in relation to the implementation of new, revolutionary technologies. The integration **of AI and IoT** creates ecosystems capable of autonomously managing resources. These technologies are revolutionizing grid infrastructure by automating processes, predicting failures, and optimizing data flow in real time.

It should be added that incorporating *elements of production theory, the fundamentals of investment decisions, and market mechanisms* into the analysis - and demonstrating their interrelationships - required the doctoral candidate to possess comprehensive and extensive knowledge. In his dissertation, the author developed a

theory of production, recognizing **AI** and **IoT** as specific, measurable, and critical factors of production.

5. Detailed comments and observations regarding the content and editing of the thesis,

1. Upon beginning to read the dissertation, the question arises as to whether Section 1.1 should be titled "*Innovation Processes in the Electric Power Sector*," as this is directly related to the decline in energy intensity in the economy. These effects of innovation are described separately in Section 1.3 of the dissertation.
2. The research conducted by the doctoral candidate covers projects from a wide range of geographic locations - including both highly developed and developing countries - with diverse market structures and ownership models. This was intended to support sound causal inferences and the broadest possible application of the findings. So there are two sides to the coin: on the one hand, an interesting selection of projects; on the other, *the problem of scalability* in implementing positively verified solutions under various economic conditions and given the size of the necessary investments. *How does the doctoral candidate view this problem?*
3. Despite the use of indicators such as **TFP**, **IRR**, **LCOE**, and *dynamic demand elasticity*, unequivocally establishing a cause-and-effect relationship between the implementation of **AI** and **IoT** technologies and the scale of economic outcomes has certain limitations due to the potential influence of variables (e.g., *economic, political, climatic, and geographic factors*). *How does the Ph.D. candidate view the issue of "differential pricing" in this context, particularly in the case of offshore investments, and what is the usefulness of the LCOE metric in a situation requiring large investments in high-voltage grids to ensure the transmission of "green energy" from offshore locations to remote regions?*
4. The concept of dynamic pricing - which involves adjusting electricity prices in real time based on supply and demand conditions - was tested in Germany quite some time ago. *What conclusions were drawn from this research and the implementation policy, and how do they compare with the results of the analysis in the dissertation?*

(Interesting publications on this topic include: 1. M. Wettingfeld, S. Meemken, F. Zerzawy, in collaboration with Hana von Looock and Selina Surek; **HOW**

CONSUMER-FRIENDLY ARE DYNAMIC AND VARIABLE ELECTRICITY RATES? Expert opinion by the Forum for Ecological and Social Market Economy (Forum Ökologisch Soziale Marktwirtschaft e.V.) commissioned by the Federal Association of Consumer Organizations (Verbraucherzentrale Bundesverband e.V.). October 30, 2024.

2. Manfred Krause; **Dynamic Electricity Rates: New Opportunities for Households and Businesses Starting in 2025.** January 30, 2025 (<https://sonnstrom.de/dynamische-stromtarife/>),

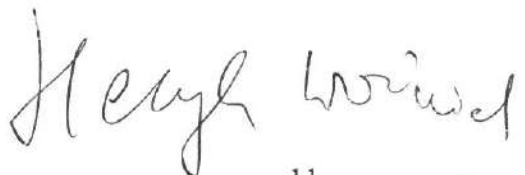
3. **Mandatory Starting in 2025: How Dynamic Rates Are Transforming the Energy Sector.** January 10, 2025 (<https://www.eoptimum.de/news/pflicht-ab-2025-dynamische-tarife/>)

Summary and Conclusion

In his dissertation, the doctoral candidate convincingly articulated the main objective and effectively verified the research hypotheses. The analysis of four case studies - the **Blue Lake Rancheria** microgrid, **Airtel Madagascar's** energy systems, the **Olympic Peninsula** demonstration project, and California's **Time-of-Use (TOU)** pricing pilot programs - provided compelling empirical evidence supporting the hypotheses formulated by the doctoral candidate. The results obtained from the calculations confirmed an improvement in operational efficiency. The analysis also shows that dynamic pricing mechanisms supported by *smart grid technologies* effectively shape demand, confirming the role **of AI** and **IoT** in creating more competitive and efficient energy markets.

The dissertation confirmed that the integration **of AI** and **IoT** yields measurable economic benefits by increasing productivity, return on investment, and market efficiency. Hence, the conclusion is that the integration of **AI** and **IoT** technologies offers the potential to solve problems related to bounded rationality in electricity markets. It enables consumers to automatically adjust their energy consumption in response to real-time price signals.

In light of the above considerations, the thesis by **Mr. Volkmar Kunerth, M.A.**, when viewed from a systemic perspective, meets the standards and requirements for a scientific dissertation. In my opinion, the dissertation meets the conditions specified in the Act of July 20, 2018, on Higher Education and Science (Journal of Laws of 2024, item 1571, as amended) - Article 187, paragraphs 1–3. Therefore, I recommend that the reviewed dissertation be forwarded for further evaluation.

 Henryk Woźniak