

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

pt: **Big Data Analytics in Building Energy Management Systems within Smart Grids**

autorstwa mgr inż. Maksymiliana Kochańskiego z Politechniki Warszawskiej

Recenzja niniejsza została opracowana na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, z siedzibą w Warszawie, z dnia 9 marca 2021 r. (pismo z dnia 25 marca 2021 r. o nr RND-ISGiE-13/2021), przekazane wraz z kopią rozprawy doktorskiej wykonanej w Politechnice Warszawskiej pod promotorstwem prof. dr hab. inż. Tadeusza Skoczkwskiego.

1. Temat rozprawy i jego uzasadnienie

Podjęcie tematyki *Big Data Analytics* (BDA) pracującego na potrzeby systemów zarządzania energią w budynkach *Building Energy Management Systems* (BEMS) wykorzystującego systemy inteligentnego opomiarowania *Smart Metering* (SM) i połączonego za ich pomocą z inteligentnymi sieciami energetycznymi *Smart Grids* (SG) jest jak najbardziej uzasadnione, w szczególności jako element przyszłego *Smart City* (SC). Notabene od wielu lat daje się zauważyć szybki rozwój energooszczędnych technologii i instalacji automatyki budynkowej. Tematyka integracji systemów zarządzania zasobami energetycznymi budynków HMS/BMS (*Home/Building Management Systems*), która jest podstawą BEMS, ze względu na globalny efekt cieplarniany, umieszczona została w wielu dokumentach UE, jak również w dokumencie „Polityka Energetyczna Polski do 2040 r.” opracowanym przez struktury Ministerstwa Klimatu i Środowiska RP. Tematyka ta odgrywa również dużą rolę w programie Rządu RP „Mieszkanie+”, „Czyste Powietrze” jak i w najnowszym programie UE „Europejski Zielony Ład”. Światowe standardy HMS/BMS m.in. zaproponowane w USA przez firmę Echelon Corporation – LonWorks, w Europie – standard EIB/KNX, wspierany przez ponad 300 producentów (np. ABB, Becker, Gira, Siemens), czy tzw. „akademicki” standard BACnet – opracowany na Cornell University w USA są nieustannie rozwijane. Wybrane ośrodki naukowe podają, że w ciągu dwóch dekad światowe zużycie energii pierwotnej wzrosło aż o 49%, co jest tendencją bardzo niekorzystną. Jak wynika z badań dotyczących całkowitej konsumpcji energii, budynki zużywają na poziomie około 40% globalnego zużycia (w zależności od regionu, od 20 do 40%) i są to zarówno budynki mieszkalne, biurowe i komercyjne, jak i hotele, centra handlowe oraz budynki przemysłowe. Sektor budynków jest zatem ogromnym konsumentem energii końcowej, gdzie na sektor budynków mieszkalnych przypada aż ok. 70% energii końcowej konsumowanej w segmencie budynków, co plasuje go na drugim miejscu z udziałem 27%, za transportem ok. 32%, a przed przemysłem 25% w danych statystycznych za rok 2019 (źródło: *Europa-Eurostat*). Szacuje się, że poprawa efektywności energetycznej budynków może przynieść w Unii Europejskiej zmniejszenie zużycia energii w aktualnych budynkach o 20%, co daje ok. 60 mld Euro oszczędności rocznie. Wiadomym jest, że podstawą zmniejszenia zużycia energii w budynku jest jego dobra izolacja. O wartości tego działania świadczy obserwowany od kilkunastu lat rozwój termomodernizacji budynków. Kolejne lata przyniosły nowoczesne rozwiązania z zakresu technologii i materiałoznawstwa w zakresie elementów konstrukcyjnych i materiałów budowlanych. Jednak dopiero wykorzystanie systemów sterowania pozwala na obniżenie kosztów eksploatacji budynków dzięki uwzględnieniu zmiennych parametrów wynikających z zachowania i nawyków użytkowników budynku. W tym celu potrzebne są systemy posiadające zdolność uczenia się, a zatem systemy inteligentne. Aktualne rozwiązania systemów HMS/BMS/BEMS pozwalają na oszczędność energii w

nowych obiektach do 30%, pomimo, że nie są w pełni inteligentne, a ich funkcjonowanie jest ściśle określone przez projektanta. Powyższe dane wyznaczają dość zdecydowanie ścieżkę, jaką należy kroczyć w rozwoju technologii i sposobów ich implementacji.

Podsumowując, Doktorant przedstawił w recenzowanej pracy interdyscyplinarne opracowanie wielu złożonych zagadnień teoretycznych dotyczących możliwości poprawy efektywności energetycznej obiektów przy wykorzystaniu systematycznej analizy obliczeniowej BDA. Niestety należy wspomnieć, że akwizycja i przetwarzanie danych wrażliwych Konsumentów w dalszym ciągu stanowi jeden z nierozwiązanych dotychczas problemów naukowych i społecznych.

Celowość rozwijania tej tematyki w stosunku do obecnego poziomu wiedzy jest wobec tego bezdyskusyjna, a recenzowana rozprawa stanowi oryginalny dorobek Doktoranta. Główną przesłanką uzasadniającą prezentowane stanowisko są: nowe narzędzia BDA, zaimplementowane w języku R, jak i w środowisku MATLAB, a także rekomendacje dotyczące poprawy instrumentów polityki publicznej i prywatnej.

2. Teza rozprawy i jej uzasadnienie

Autor sformułował główną tezę pracy doktorskiej która stwierdza, że **"narzędzia BDA zaimplementowane w BEMS, przy wykorzystaniu SM, pozwalają na osiągnięcie rezultatów, które nie są osiągalne dzięki obecnie stosowanym metodom realizacji niektórych zadań inżynierskich w ramach SG"**. Udowodnienie wyżej wymienionej tezy oparł na udowodnieniu trzech tez pomocniczych:

- SM są niezbędne dla BDA w BEMS i SG, ale ich realizacja zależy od interakcji elementów SM TIS (*Technology Innovation System*).
- Narzędzia BDA umożliwiają pozyskiwanie informacji semantycznych (klas punktów danych) wyłącznie z szeregów czasowych (dane generowane przez punkty danych), osiągając wyniki, których nie można osiągnąć dzięki obecnie stosowanym metodom zapewnienia interoperacyjności semantycznej między różnymi modelami danych BEMS.
- Narzędzia BDA umożliwiają dostarczanie solidnych dowodów empirycznych na temat efektów programów oszczędzania energii, osiągając wyniki, których nie można osiągnąć dzięki obecnie stosowanym metodom oceny wpływu programów zmiany zachowania na oszczędzanie energii w gospodarstwach domowych.

Z kolei, do udowodnienia tez pomocniczych wyznaczył sobie analizę trzech szczegółowych celów badawczych:

- analiza procesu rozwoju SM jako TIS, będąca zarówno ważnym elementem SG, jak i warunkiem wstępnym pozyskiwania danych dla narzędzi BDA,
- opracowanie i wykazanie, w jaki sposób narzędzia BDA mogą być odpowiednie do osiągnięcia wyników, których nie można osiągnąć za pomocą obecnie stosowanych metod, w celu zapewnienia semantycznej interoperacyjności między różnymi modelami danych BEMS w ramach SG,
- opracowanie i wykazanie, w jaki sposób narzędzia BDA mogą być odpowiednie do osiągnięcia wyników, które nie są osiągalne przy obecnie stosowanych metodach pomiaru efektów programów zmiany zachowań ukierunkowanych na oszczędność energii w gospodarstwach domowych w ramach SG.

Takie postawienie problemu pozwoliło Autorowi na kompleksową analizę TIS SM jako ważnego elementu SG, i opracowanie wstępnego wymogu pozyskiwania danych do narzędzi BDA, a w konsekwencji wykazanie, że zastosowanie nowych narzędzi BDA pozwala na osiągnięcie wyników, które nie są osiągalne dzięki obecnie stosowanym metodom realizacji zadań inżynierskich w BEMS w ramach SG. Dzięki temu uzyskał pozytywne potwierdzenie sformułowań zapisanych w tezie głównej.

Biorąc zatem pod uwagę zarówno dość precyzyjne określenie tezy, jak i rozwinięcie przez Doktoranta myśli w niej zawartych (problemów badawczych), które następnie zostały rozwiązane właściwie przy użyciu metod naukowych, należy stwierdzić, że **zakres podjętych w rozprawie zagadnień wystarcza do spełnienia wymagań stawianym rozprawom doktorskim.**

W świetle przedstawionych wyników rozprawy **tezę można uznać za udowodnioną oraz cele pracy za osiągnięte na płaszczyźnie teoretycznej z licznymi wskazaniem dla praktyki.**

3. Charakterystyka ogólna rozprawy i umiejętność prezentowania wyników naukowych

Przedstawiona do recenzji rozprawa jest napisana w języku angielskim i zawiera 141 stron tekstu podstawowego, w tym: 18 stron spisu literatury zawierający 268 wielojęzycznych pozycji bibliograficznych zestawionych w kolejności alfabetycznej oraz spis 44 rysunków, wykresów i fotografii i 19 tablic, zastosowanych w rozprawie. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zawiera jednoznacznie określone cele, tezę oraz zakres pracy. Treść merytoryczna rozprawy została zawarta w rozdziałach 1-5, wraz z dodatkowym podsumowaniem (również w języku polskim) i stanowi jednolitą tematycznie całość nie wymagającą uzupełnień.

W rozdziale 1 przedstawiono ogólnie badane zagadnienia, cele oraz główną tezę pracy i trzy tezy pomocnicze, a także wprowadzono definicje pojęć używanych w pracy. Rozdział ten, również, pokrótce przedstawia metodologię badawczą, a także założenia ograniczające zakres badań dla poszczególnych wyznaczonych przez Autora celów badawczych.

W rozdziale 2 zaprezentowano syntetycznie aktualny stan wiedzy teoretyczny i metodologiczny na temat kluczowych pojęć poruszonych w tezie głównej i pomocniczych, a mianowicie: smart grid, systemów zarządzania energią w budynku, smart metering i big data analytics, oraz ich wzajemnych zależności. Przedstawiono również związek między problemami badawczymi poruszonymi w pracy, a zmniejszeniem śladu CO₂ w systemach elektroenergetycznych dzięki m.in. zwiększeniu efektywności energetycznej w budynkach.

W rozdziale 3 opisano metodologię stosowaną do zbierania danych BD wykorzystywanych do weryfikacji tezy głównej i trzech tez pomocniczych. Zostały wyjaśnione użyte metody badawcze oraz źródła i zakresy danych, jak i metody ich analizy, podane nie tylko w literaturze fachowej, ale również w rozporządzeniach poszczególnych krajów: Niemiec i Polski, oraz UE.

W rozdziale 4 Autor prezentuje uzyskane wyniki eksperymentalne z budynku E.ON Energy Research Centre w Aachen (Niemcy) oraz z 1638 gospodarstw w Warszawie (Polska). Analizuje je pod kątem znaczenia dla weryfikacji trzech tez pomocniczych wykorzystując m.in. analizę wrażliwości, wybierając rodziny klasyfikatorów, zaś w aspekcie technologii poprawę infrastruktury jak i instrumentów polityki: m.in. gospodarczych i finansowych.

W rozdziale 5 zostały wyciągnięte wnioski z wyników badań i zostały porównane z wynikami innych naukowców. Rozdział ten zawiera także, podsumowanie wyników badań teoretycznych dowodzące słuszność tezy postawionej w pracy i tez pomocniczych, oraz wnioski końcowe na temat analizowanych problemów badawczych. Przedstawione zostały również wnioski teoretyczne i aplikacyjne, wskazania dla polityki zmniejszania śladu CO₂ w środowisku wraz z ich zakresami zastosowań. Na koniec zostały podane rekomendacje do dalszego rozwoju własnych prac badawczych.

Struktura pracy jest ogólnie poprawna, chociaż fragmentami sprawia wrażenie nieco rozwlekłej, w szczególności rozdz. 4.1. Strona formalna pracy jest zasadniczo właściwa. Praca napisana jest dobrym językiem naukowo-technicznym. Należy stwierdzić na tej podstawie, że Autor rozprawy wykazała się umiejętnością pisania prac o charakterze naukowym.

Dla zrealizowania założonego programu interdyscyplinarnych badań teoretycznych Doktorant musiał opanować nowoczesne techniki badawcze głównie z zakresu informatyki (BDA), jak i energetyki (SM, BEMS, SG), a sposób wywiązania się z, postawionych sobie, zadań badawczych świadczy o wystarczających naukowych kwalifikacjach Doktoranta. Ponadto Doktorant przygotował narzędzie porównujące zestaw klasyfikatorów oraz opracował metodę

ich weryfikacji na potrzeby zastosowań BDA w BEMS. Jego zdaniem klasyfikator TotalBoost sprawdza się najlepiej i może znaleźć zastosowanie przy analizie danych pochodzących z BEMS. Przeanalizował też czynniki mające wpływ na dokładność klasyfikacji. Przedstawił syntetycznie wpływ poszczególnych czynników na odchylenia od dokładności klasyfikatorów. Przygotowane w ten sposób narzędzie może wesprzeć analizę danych, prowadzoną obecnie ręcznie przez wykwalifikowany personel, poprzez weryfikację oraz wskazanie potencjalnie błędnie oznaczonych punktów danych, minimalizując tym samym ryzyko błędu ludzkiego. Dzięki temu ograniczona jest również konieczność posiadania wiedzy eksperckiej na temat struktury systemu. Może to prowadzić do znacznego zmniejszenia kosztów w zakresie uruchamiania systemu BEMS. Ponadto Doktorant przygotował model regresyjny umożliwiający oszacowanie wpływu programów wspierających politykę oszczędzania energii poprzez zmianę zachowania użytkowników. Model ten wykorzystuje zautomatyzowany system zbierania danych o zużyciu energii, co nie tylko wpływa na dokładność oraz częstotliwość uzyskiwania informacji, ale również zmniejsza koszty samych badań. Uzyskiwane wyniki są bardziej miarodajne niż dotychczas używane ankiety deklaracyjne użytkowników. W efekcie pozwala to na, nawet przy zmiennej pewności uzyskiwanych pomiarów, efektywne śledzenie zmian przyzwyczajzeń użytkowników, a więc i efektów programów. Tym samym, wykazał bardzo dobre przygotowanie teoretyczne i dużą zręczność zarówno w modelowaniu, jak i komputerowej symulacji rozpatrywanych zagadnień. Doktorant uzyskał zdolność samodzielnego prowadzenia badań, a także posiada umiejętność przedstawiania i komentowania uzyskanych wyników badań i analiz oraz formułowania wniosków. Ponadto, w sposób wystarczający operuje językiem angielskim, co stanowi dodatkowy walor posiadanych predyspozycji naukowych i ułatwia nawiązywanie międzynarodowych kontaktów naukowych.

Niewątpliwie, Doktorant swoją rozprawą doktorską przyczynił się do rozwoju reprezentowanej przez siebie dziedziny nauki.

Na szczególną uwagę zasługuje spora wiedza i znajomość zagadnień z zakresu modelowania matematycznego z dużą ilością danych, gospodarki energetycznej i instrumentów polityki publicznej i prywatnej. Doktorant posiada również dobre opanowanie techniki pisania prac naukowych oraz umiejętność pracy w międzynarodowych zespołach.

4. Strona edytorska rozprawy

Rozprawa jest opracowana w sposób klarowny dla czytelnika z logicznym podziałem na rozdziały i podrozdziały ułatwiającym śledzenie toku rozumowania Autora. Druk i grafika komputerowa są czytelne. Na podkreślenie, z wyjątkiem nielicznych przypadków, zasługuje wystarczająca jakość materiałów ilustracyjnych. Z językowego punktu widzenia praca jest napisana poprawnie, stylem zwięzłym, rzeczowym i komunikatywnym. Korekta pracy jest bardzo staranną. Autor jednak nie ustrzegł się od popełnienia kilku błędów redakcyjnych, edytorskich, interpunkcyjnych bądź nieprecyzyjnych sformułowań. Pojawiają się częste niepotrzebne powtórzenia sformułowań. Tylko część z tych błędów można uzasadnić anglojęzycznym pochodzeniem niektórych sformułowań. Recenzent uważa jednak, że poziom edytorski rozprawy doktorskiej jest wystarczający, a przykładowe uwagi podane w uwagach szczegółowych i redakcyjnych w niczym nie umniejszają pozytywnie merytorycznej oceny uzyskanych w pracy wyników.

5. Zagadnienia dyskusyjne i uwagi krytyczne

1) Tytuł pracy przyobiecuje więcej, niż ostatecznie przedstawiono w rozprawie. O ile tematyka *Big Data Analytics (BDA)* opracowana jest na wystarczającym poziomie, o tyle zbyt mało w pracy poświęcone jest na praktyczną stronę tematyki *Building Energy Management Systems (BEMS)* oraz *Smart Grid (SG)*, które w końcowym efekcie decydują o uzyskanym poziomie efektywności energetycznej. Kompozycja pracy zyskałaby na przejrzystości, gdyby ograniczono rozdział 4.1, rezygnując z ogólnego opisu tematyki w niej zawartej na rzecz jej

opisu technicznego i związanych z nim problemów np. interfejsów wymiany danych pomiędzy omawianymi systemami, czy też kontroli poprawności nastaw urządzeń, a w konsekwencji weryfikacji algorytmów pracujących w BEMS, czy też SG.

2) Brak odwołania w pracy do niektórych, aktualnych krajowych projektów badawczo-rozwojowych, zdaniem recenzenta przydatnych do realizacji tematu recenzowanej rozprawy np. „Zarządzanie pracą sieci dystrybucyjnej niskiego napięcia z uwzględnieniem aktywnej roli prosumenta”, 2018-2020, POIR 2014-2020, zrealizowanego przez Politechnikę Łódzką, PGE Dystrybucja S.A., APATOR ELKOMTECH S.A., Politechnikę Lubelską. Projekt obejmował rozwiązania m.in. zwiększające efektywność energetyczną u odbiorców oraz problematykę prowadzenia ruchu sieci poprzez wykorzystanie możliwości regulacyjnych urządzeń prosumenta. Zaproponowany system ma umożliwić efektywne wykorzystanie infrastruktury sieciowej oraz jej optymalnego obciążenia (efektywności energetycznej i redukcja strat), a zmiana roli prosumenta w procesie dostawy energii elektrycznej, z pasywnej na aktywną, doprowadzi do właściwej integracji źródeł rozproszonych w sieci i umożliwi zarządzanie nimi.

3) Doktorant pisze o badaniu 13 klasyfikatorów, ale w rzeczywistości ilościowo bada ich tylko 9. Uzasadnia to niemożliwością przeprowadzenia tego typu analizy na klasyfikatorach z danymi empirycznymi. Dobrze byłoby, dla jasności zapisu, napisać w rozprawie o tym podziale wcześniej, zanim pojawi się opis badania statystycznego.

4) Podczas analizy wpływu częstotliwości analizy danych na dokładność uzyskiwanego wyniku Doktorant stosuje dzień, tydzień, miesiąc oraz rok. Brakuje elementu pośredniego między miesiącem a rokiem, np. kwartału. Jaka jest tego przyczyna?

5) Brak jednoznacznego wskazania czy Doktorant napisał jakiś klasyfikator od podstaw, czy raczej skorzystał z klasyfikatorów dostępnych bezpośrednio w Matlabie <https://www.mathworks.com/help/stats/ensemble-algorithms.html>. Recenzent zakłada, że Doktorant zastosował istniejące w Matlabie klasyfikatory i napisał kod, który porównywał wyniki między nimi. Czy to założenie jest słuszne?

6) Brak szczegółowych informacji o sposobie zbierania *Big Data (BD)* za pomocą *Smart Metering (SM)* oraz *SG* wykorzystujących lokalne *Building Management Systems (BMS)*, czy też *Building Automation Control System (BACS)*. Brak szczegółów technicznych systemów pomiarowych użytych do zbierania *BD*. Brak informacji o sposobie gromadzenia i przechowywania *BD* służących do dalszej analizy. Brak informacji o analizie poprawności zebranych danych *BD*. Brak informacji o niepewności pomiaru danych *Big Data* zbieranych za pomocą *SM*. Należy w tym miejscu nadmienić, że w dalszym ciągu akwizycja i przetwarzanie danych wrażliwych Konsumentów stanowi jeden z nierozwiązanych dotychczas problemów.

7) Brak odwołania w recenzowanej rozprawie do tzw. dyrektywy „budynkowej” Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844/UE z dnia 30 maja 2018 r. zmieniającej dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej.

8) Wprowadzenie enigmatycznego pojęcia *Technology Innovation System (TIS)* jako pojemnej „uniwersalnej skrzynki” (zawierającej *technologie, infrastrukturę, podmioty, sieci, instytucji i politykę*), nie rozwiąże praktycznych problemów przekazywania i kontroli (w sprzężeniu zwrotnym) algorytmów pracy i nastaw np. dla sterowników systemu zarządzania budynkiem (*BMS*) lub systemu automatyki budynku (*BACS*) wypracowanych za pomocą *BDA* bądź *BEMS*, czy też *SG*, co może skutkować brakiem uzyskania poprawy efektywności energetycznej, a wręcz ją pogorszyć. Brak szerszej analizy tej tematyki w pracy.

9) Brakuje szerszej weryfikacji postawionych tez w skali eksperymentalnej/laboratoryjnej, co nie potrzebnie osłabia uzyskane teoretyczne wyniki, wnioski i zalecenia.

10) W piramidzie dojścia do *Smart City*, o którym jest w pracy zasygnalizowane, zazwyczaj możemy wyodrębnić następujące stopnie, idąc od dołu: *Poprawy świadomości konsumenta*,

Rozwoju infrastruktury energetycznej, Smart Metering, Poprawy efektywności energetycznej, Prosumentów, Smart Grid (HAN) i na końcu osiągniemy wierzchołek piramidy – Smart City. Poszczególne stopnie np. Smart Metering powinien być wspomagany – Advanced Metering Infrastructure (AMI), zaś Smart Grid – wspomagany przez m.in. Home Area Network (HAN), strefą inteligentnych i interaktywnych rozwiązań dla konsumentów, aby świadomie i w czasie rzeczywistym mogli decydować o zakupie i zużyciu energii (programy/algotytm zarządzania popytem Demand Side Management (DSR) oraz usługi Demand Side Response (DSR)). Jeżeli, któryś ze stopni piramidy nie zostanie osiągnięty, cel jakim jest Smart City, również nie zostanie osiągnięty. Większość ww. tematów w pracy została potraktowana zbyt zdawkowo, a zdaniem recenzenta są one nierozłączne z zastosowaniem BDA na potrzeby uzyskania efektywności energetycznej.

Jednocześnie stwierdzam, że nie sprawdzałem poprawności przekształceń wzorów podanych w pracy.

6. Najważniejsze uwagi szczegółowe i redakcyjne

- 1) Str. 21 – brak numeru strony, rys. 1 jest mało czytelny, zbyt mała czcionka na tle o słabym kontraście.
- 2) Str. 36 – rys. 4 jest mało czytelny, zbyt mała czcionka.
- 3) Str. 77 – rys. 20 posiada opisy na osiach nieczytelne.
- 4) Str. 90 – błędnie podano, że Smart Metering jest w Polsce Krajową Inteligentną Specjalizacją. Jest on tylko elementem co najmniej dwu KIS'ów (KIS 4 - Wysokosprawne, niskoemisyjne i zintegrowane układy wytwarzania, magazynowania, przesyłu i dystrybucji energii oraz KIS 5 - Inteligentne i energooszczędne budownictwo) jako element wspomagający możliwość poprawy efektywności energetycznej obiektów bądź systemów.
- 5) Str. 116 – rys. 42 – jest to pierwszy rysunek, na którym podano oba tytuły osi, zarówno X jak i Y. Warto ujednoczyć to w całej pracy. Opis osi Y pojawia się jeszcze na rys. 43 i 44.
- 6) Str. 131 – błąd w przywołaniu tabeli: jest tabela 18 powinno być tabela 19.

Pozostałe drobne uwagi redakcyjne zostaną przekazane bezpośrednio Autorowi, przy najbliższej sposobności.

7. Ocena ostateczna rozprawy

Rozprawa doktorska pt: **Big Data Analytics in Building Energy Management Systems within Smart Grids**, autorstwa mgr inż. Maksymiliana Kochańskiego, stanowi ważną w zakresie poznawczym i teoretycznym pracę naukową o wystarczających cechach oryginalności. Doktorant wniósł dający się jednoznacznie wyodrębnić wkład w ważną dla nauki dziedzinę techniki systemów zarządzania energią w budynkach (BEMS). Za najważniejsze samodzielne osiągnięcia Autora uważam:

- 1) opracowanie nowych narzędzi BDA, zaimplementowane w języku R, jak i w środowisku MATLAB,
- 2) zrealizowanie konkretnego i złożonego metodologicznie programu badań symulacyjnych do analizy BDA,
- 3) rekomendacje dotyczące poprawy instrumentów polityki publicznej i prywatnej,

Na podkreślenie zasługują umiejętności Doktoranta w zakresie rozwiązywania trudnych i pracochłonnych problemów interdyscyplinarnych oraz zdolność do krytycznej interpretacji uzyskiwanych wyników. Wskazuje to na dobre przygotowanie teoretyczne Doktoranta w zakresie analizy BD na potrzeby BEMS oraz na Jego możliwości w zakresie samodzielnego rozwiązywania trudnych problemów naukowych. Powyższa ocena wraz z podanymi w punktach

1÷3 jednoznacznie pozytywnymi konstatacjami dotyczącymi celowości podjętej tematyki, zakresu i kompletności rozprawy, udowodnienia jej tez i osiągnięcia założonych celów pozwalają stwierdzić, że **recenzowana praca spełnia wszystkie wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim.**

W związku z art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Maksymiliana Kochańskiego nt. „*Big Data Analytics in Building Energy Management Systems within Smart Grids*” spełnia wymagania formalne określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003, nr 65, poz. 595) wraz z późniejszymi zmianami.

Przedstawiona rozprawa doktorska mieści się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych (odpowiadającej dziedzinie nauk technicznych wg Rozporządzenia MNiSW z 2011 roku), w dziedzinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka (odpowiadającej dyscyplinie energetyka wg Rozporządzenia MNiSW z 2011 roku).

Wnoszę przeto o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

