

Opole, 21.03.2024

Prof. dr hab. inż. Dariusz Zmarły
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechnika Opolska
45-758 Opole ul. Prószkowska 76

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Rafała Owczarczaka

p.t. „Wykorzystanie harvestingu energii w podnoszeniu efektywności energetycznej budynków z systemem zarządzania BMS i autonomicznym zasilaniu współpracujących z nim zdalnych układów czujnikowych”

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja pracy p.t. „Wykorzystanie harvestingu energii w podnoszeniu efektywności energetycznej budynków z systemem zarządzania BMS i autonomicznym zasilaniu współpracujących z nim zdalnych układów czujnikowych” jest realizowana na podstawie zawiadomienia o wyznaczenie na recenzenta w postępowaniu w sprawie o nadanie stopnia doktora zał. 5b do ZW 36/2023 Politechniki Wrocławskiej oraz prośby o przygotowanie recenzji przesłanej przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne prof. dr. hab. inż. Andrzeja Dziejzica.

Promotorem jest dr hab. inż. Paweł Żyłka, promotorem pomocniczym jest Ireneusz Wąsowicz.

Realizacja rozprawy doktorskiej była wspierana przez program „Doktorat wdrożeniowy” finansowany przez Ministerstwo Edukacji i Nauki, edycja III grant nr DWD/3/9/2019.

Praca jest realizowana w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, dziedzina nauk inżynieryjno-technicznych.

2. Ocena wyboru tematyki rozprawy

Temat harvesting energii pochodzącej z różnorodnych źródeł jest z pewnością aktualny, dynamicznie rozwijający się. W literaturze przedmiotu, w badaniach przemysłowych, rozwojowych, naukowych są różnorodne przykłady wykorzystania energii z otoczenia zarówno z energii ruchu mechanicznego, różnic temperatur, ciepła odpadowego, fal radiowych. Jednym z głównych zastosowań jest zasilanie urządzeń IoT. Oceniana doktorska wpisuje się w ten nurt, aczkolwiek jej pierwszą zaletą jest to że obejmuje zarówno harvesting niewielkich energii do celów zasilania urządzeń w skali mikro, ale również podejmuje temat harvesting energii dużej mocy na przykładzie odzyskiwania energii odpadowej w kuźni aluminium.

Pomimo znaczącego postępu w tym zakresie Harvesting energii wciąż stoi przed wieloma wyzwaniami, technicznymi, ekonomicznymi. Wyzwania te obejmują różnorodne ograniczenia w zakresie doboru układów przetwarzania energii, ich wydajności, trwałości urządzeń, sposobów magazynowania energii, ciągłości dostępu do energii resztkowej, ciągłości zasilania urządzeń w okresach, w których nie ma dostępu do zewnętrznego źródła zasilania.

Istotne są również aspekty ekonomiczne m.in. koszty, czas zwrotu inwestycji, skalowalność rozwiązania.

Podsumowując harvesting energii jest tematyką nowoczesną, rozwijającą się, posiadającą potencjał naukowy, generującą liczne wyzwania o charakterze inżynierskim i naukowym. Pełne wykorzystanie w praktyce wymaga szeregu prac o różnym zakresie.

Ten doktorat nie wyczerpuje tematu, ale z pewnością porusza kilka ważnych aspektów tematyki harvesting, szczegółowo opisuje kilka interesujących prób pobierania energii z otoczenia w małej i dużej skali.

3. Charakterystyka rozprawy

Praca liczy 221 stron, w tym spis rysunków, spis tabel, 14 rozdziałów, wykaz literatury.

Praca rozpoczyna się od **wstępu**, który wprowadza w tematykę systemów zarządzania budynkami BMS. Omówione są podstawowe wielkości i parametry powiązane z omawianym zagadnieniem. Omówiono podstawowy zarys historii, strukturę na różnych poziomach, efektywność energetyczną budynków zarządzanych. W tekście odwoływano się do

odpowiednich uregulowań prawnych a w szczególności do Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady w zakresie charakterystyki energetycznej budynków, która sprowadza się przede wszystkim do ograniczenia zużycia energii oraz emisji gazów cieplarnianych związanych z eksploatacją budynków. W dalszej części omówiono również terminologię harvestingu. Sama nazwa jest dyskusyjna, doktorant korzysta z niej ze względu na brak krótkiego odpowiednika w języku polskim. W całej pracy korzystano z tego terminu i o ile nazwa harvesting jest akceptowalna, to jednak trudno zaakceptować niektóre słowa złożone znajdujące się w pracy np. termoharvesting, który w połowie jest spolszczony a w połowie nie. Być może lepiej posługiwać się skrótem np. TH.

Teza 1 w pracy została określona w rozdziale 1.4. Jest sformułowana następująco:

„Energia pozyskiwana z otoczenia (poprzez harvesting energii) umożliwia poprawę efektywności energetycznej budynków z systemem BMS CHRONOMATIK”

Teza 2 jest następująca: „Energia pozyskiwana z otoczenia (poprzez harvesting energii) umożliwia również autonomiczne, bezbateryjne zasilanie zdalnych układów czujnikowych instalowanych w budynkach i współpracujących z systemem zarządzania budynkiem BMS Chronomatik. Sieć zasilanych w ten sposób zdalnych układów czujnikowych pozwala na poprawę efektywności energetycznej budynków zarządzanych systemem BMS Chronomatik.”

Tezy sformułowane są prawidłowo – nieco razi użycie konkretnego produktu w tezie naukowej – mamy tu jednak do czynienia z doktoratem wdrożeniowym i sformułowania w tezie ukierunkowane na konkretne rozwiązanie mogą być tym uzasadnione.

Auto wskazuje na konkretne zadania, które związane są z udowodnieniem tez. Należą do nich: analiza literatury, ocena zapotrzebowania energetycznego platformy czujnikowej LoRa, analiza potencjalnych źródeł energii odpadowej, opracowanie prototypów harwesterów a także uruchomienie bezprzewodowej platformy czujników, weryfikacja budżetu energii. Ważnym elementem jest również samo przygotowanie do wdrożenia i wdrożenie w rzeczywistym obiekcie proponowanego rozwiązania.

Kolejny rozdział **drugi** opisuje teoretyczne podstawy proponowanego rozwiązania. W szczególności omówiono efektywność energetyczną budynków z systemem BMS w świetle unormowań prawnych. Opisano warunki wpływu systemów automatyki i sterowania na efektywność budynku. Ważnym elementem jest określenie czterech warunków, które zapewniają efektywność na odpowiednim poziomie. Wymieniono również cztery sposoby realizacji automatyzacji oraz sterowania instalacjami technicznymi w budynkach, które określają czy sterowanie odbywa się w sposób automatyczny oraz dotyczą sposobu komunikacji w systemie. Opisano również klasy A-D określające podstawowe cechy systemu BMS.

Rozdział **trzeci** dotyczy przeglądu literatury. Zawarto w nim opis zastosowań bezprzewodowych czujników we współczesnych systemach automatyki budynkowej. Ta część zawiera zarówno zalety jak i wady różnych rozwiązań opisanych w publikacjach różnych grup badawczych. Dokonano również systematyki źródeł energii dla urządzeń przetwarzających energię odpadową. Ważnym elementem jest umiejscowienie pracy na tle innych prac w zakresie harvestingu. Wymieniono tutaj kilka głównych źródeł energii odpadowej m.in. energii cieplnej, mechanicznej, promieniowania elektromagnetycznego, energii świetlnej. Opisano kilka przykładowych koncepcji gromadzenia energii odpadowej np. z użyciem przetwornika piezoelektrycznego czy harvestera fal elektromagnetycznych.

Rozdział **czwarty** omawia ogólnie plan badań. Jest ogólnie krótki (2 str.) i mógłby zostać złączony z następującym po nim rozdziałem.

Rozdział **piąty** jest istotnym elementem pracy doktorskiej i zawiera opis konkretnego wdrożenia harvestingu ciepła odpadowego w kuźni aluminium. Jest to harvesting dużej skali makro ze względu na ilość ciepła, która jest odzyskiwana. Koncepcja rozwiązania jest interesująca, polega na wykorzystaniu ciepła w kilku obszarach. Obszar pierwszy dotyczy odzysku energii cieplnej. Jest to realizowane przy użyciu wymienników ciepła powietrze/woda. Zwraca uwagę problem zabrudzenia filtru. Drugi obszar dotyczy transferu energii cieplnej do wodnego układu zasilania pomp ciepła. Trzeci obszar dotyczy pracy kotłowni oraz wykorzystania ciepła odpadowego na cele ogrzewania oraz przygotowania CWU. W pracy musiało zostać rozwiązanych szereg problemów inżynierskich, zaprojektowanie odpowiedniej

sieci czujników, zaworów, sterowników, które dokonują pomiarów oraz sterują pracą całego układu.

Ważnym elementem jest wyznaczenie sprawności energetycznej układu. Zrealizowane to zostało w sposób rzetelny, zostały wyznaczone krzywe generowanej i pobieranej mocy grzewczej. Nieco rażą żargonowe sformułowania np. „Zmiana wartości pobieranej mocy ... związana jest z fizyką pracy układu pompy ciepła”. W efekcie zrealizowanego rozwiązania wykazano znacząco redukcję zapotrzebowania energetycznego, wskutek czego współczynnik efektywności energetycznej był dość wysoki. Roczna redukcja zużycia energii wynosiła 230 MWh co jest wartością przynoszącą wymierne, policzalne korzyści na różnym poziomie, w tym finansowe.

Rozdział **szósty** opisuje inny przykład wykorzystania harvestingu do poprawy efektywności energetycznej budynku. Również w tym przypadku opisano obiekt pomiarowy, były to sprężarki a odyskiwane było ciepłe na cele grzewcze obiektu. Użyte rozwiązanie pozwala na redukcję gazu oraz redukcję konsumpcji energii o 3551MWh w jednym sezonie grzewczym.

Rozdział **siódmy** opisuje ogólny plan w zakresie realizacji harvestingu w skali mikro. Jest on niepotrzebny, mógłby zostać złączony z następującym po nim rozdziałem.

Rozdziały **ósmo do czternastego** opisują skrajnie różny przykład wykorzystania energii – tym razem w skali mikro. W szczególności w rozdziale **ósmym** analizowano zapotrzebowanie energetyczne bezprzewodowej platformy czujnikowej LoRa. Szczegółowo opisano platformę testową opartą o mikrokontroler STM32L082. Do komunikacji wykorzystano moduł radiowy SX1276 oraz odpowiednio zaprojektowaną anteną. Dużym wyzwaniem w stosowanej platformie sprzętowej jest minimalizacja energii elektrycznej oraz jej odpowiednie zarządzanie. Wykorzystywane komponenty muszą posiadać odpowiednie tryby pracy od zasilacza DC/DC (w tym przypadku przetwornica TPS62745) poprzez poszczególne czujniki i elementy sterujące. Do pomiaru stężenia CO₂ wykorzystano SCD30. Dobór przeprowadzono w sposób odpowiedni. Wybrano elementy, które na obecnym rynku elektroniki należą do elementów półprzewodnikowych o minimalnie możliwym poborze energii oraz zapewniają kontrolę pobieranej mocy przy użyciu sygnałów sterujących. Brakuje w pracy szczegółowych schematów

ideowych ale jest to zrozumiałe w kontekście ochrony własności intelektualnej i know-how przedsiębiorcy. Na uwagę jednak zasługuje, że w pracy szczegółowo opisano pomiary zapotrzebowania energetycznego poszczególnych elementów oraz udział tego zapotrzebowania w całym budżecie energetycznym. To dowodzi dużych umiejętności projektowania, systematycznego i rzetelnego podejścia do realizacji zadania. W rozdziale zawarto kilka przykładowych przebiegów zmian napięcia i prądu w różnych fazach pracy systemu, wszystkie wyniki przeliczano na Joule, tak aby móc porównać różne składowe względem siebie. W podrozdziale 6.3. opisano architekturę komunikacji bezprzewodowej. Autor poprawnie wykorzystał technologię LoRa, która należy do jednej z najlepszych, obecnie dostępnych na rynku, komercyjnych rozwiązań transmisyjnych zapewniających sporą odległość transmisji przy minimalnym zużyciu energii. Pomimo wybrania niskoenergetycznego rozwiązania jakim jest sieć LoRa w dalszym ciągu w całkowitym budżecie energetycznym jest to najbardziej znacząca pozycja, dlatego ważnymi aspektami są takie parametry jak koszt energetyczny pojedynczej transmisji oraz częstotliwość wysyłania komunikatów.

Rozdział **dziewiąty** należy do ważnych elementów pracy, gdyż zawiera algorytm sterowania komfortem cieplnym w pomieszczeniu biurowym z wykorzystaniem czujników okiennych zasilanych bateryjnie. Nieco razi nazwa „kaloryfer” wykorzystywana w rozdziale, która należy do określeń potocznych opisujących grzejnik. W tym przypadku energia pobierana była z termostosu umieszczonego na oknie. Badania przeprowadzono w sytuacji dużej różnicy temperatur. Nasuwa się tu pytanie o pracę w sytuacji kiedy temperatura zewnętrzna jest zbliżona lub równa temperaturze wewnętrznej przez dłuższy czas. Urządzenie nie zawiera akumulatora energii poza kondensatorem.

Na rysunku 51 pokazano zależność napięcia od różnicy temperatur. W tekście znajduje się informacja o liniowej zależności tych dwóch wielkości. Brakuje tutaj formalnego potwierdzenia. Z jednej strony brakuje odpowiedniej liczby pomiarów pozwalających na wyciągnięcie wniosków. Z drugiej strony brak jest miar potwierdzających tę zależność np. współczynnik regresji, miary podobieństwa, współczynnik determinacji czy wartość p. Również słabością jest brak na wykresie sytuacji, gdy wartość różnicy temperatur jest ujemna, co również jest możliwe w rzeczywistych sytuacjach.

Czy autor rozważał użycie harvestera dwustronnego, być może to rozwiązałoby część problemów.

Autor w zasilaniu wykorzystywał przetwornice EM8900, które mają bardzo niską wartość napięcia wejściowego 5mV i zostały zaprojektowane do pracy z TEG. Układ ten posiada możliwość współpracy z akumulatorem energii, który z pewnością przydałby się w proponowanym rozwiązaniu. Jednak autorowi pracy nie udało się zdobyć odpowiednich elementów ze względu na realny utrudniony dostęp do elementów półprzewodnikowych w okresie, w którym realizowana był ten projekt. Niemniej jednak w pracy dużą uwagę poświęcono układowi zasilania, ocenie charakterystyk przetwornicy, szybkości zmian napięcia wyjściowego w zależności o obciążenia i pojemności. W zakresie magazynowania energii brakuje w pracy schematu proponowanego układu z akumulatorem. Być może jest możliwość wykorzystania alternatywnych półprzewodników do sterowania procesem gromadzenia energii w niewielkim akumulatorze np. litowo-jonowym.

Ogólnie w tej części brakuje również wykorzystania magazynów energii pochodzącej z energii w przypadku skali mikro, np. typów akumulatorów w kontekście ich sprawności i możliwości pracy w różnych warunkach temperatury czy też superkondensatorów, sposobów gromadzenia energii pomiędzy pomiarami i transmisjami.

Rozdział **dziesiąty** dotyczy oceny efektywności energetycznej pochodzącej z wnętrza budynków. Tutaj autor rozprawy proponuje wykorzystanie harwestera bazującego na różnicy energii wynikającej z przepływającej wody zimnej. W pracy opisano szczegółowo charakterystyki pracy ale skupiono się głównie na analizie w warunkach letnich. Innym przykładem jest pozyskiwanie energii cieplnej z instalacji CO a w szczególności z belki rozdzielacza w instalacji powrotnej. W tym przypadku autor wykorzystywał przetwornicę DC-DC LTC3108.

Rozdział **jedenasty** dotyczy badań w zakresie zasilania platform czujnikowych LoRa. Opisano stanowisko pomiarowe, wykorzystywany termogenerator oraz przetwornicę o niskim napięciu pracy. Dużą uwagę przywiązano doborowi magazynu energii. W szczególności analizowano wpływ pojemności kondensatora elektrolitycznego. Brakiem jest ilustracja wartości napięcia, szybkości ładowania w zależności od pojemności.

Rozdział **dwunasty** dotyczy wykorzystania czujników zasilanych harvesterami w warunkach przemysłowych. W tym przypadku wykorzystano termogenerator połączony z

radiatorem na sprężarce w fabryce sprzętu AGD. W pracy zawarto przebiegu napięć generowanych z wykorzystaniem odzyskanej energii cieplnej w ciągu doby. W tym przypadku autor rozprawy miał do rozwiązania szereg problemów wynikających z wysokiej temperatury otoczenia, przemysłowego charakteru środowiska, silne zakłócenia elektromagnetyczne.

Rozdział **trzynasty** zawiera interesujący sposób wykorzystania energii mechanicznej pochodzącej z aktywności ludzi. W szczególności opracowano harwester do zbierania energii z samozamykacza drzwi oraz z klamki. Nasuwa się pytanie czy bardziej wydajny nie byłby hamulec elektromagnetyczny zamiast stosowanego samozamykacza hydraulicznego, który przejmuje część energii. W przypadku wykorzystanej klamki brakuje informacji o doświadczeniach użytkowników.

Ostatni rozdział **czternasty** zawiera podsumowanie pracy i szereg szczegółowych wniosków w zakresie wykorzystania energii odpadowej w różnych sytuacjach w skali laboratoryjnej oraz przemysłowej.

4. Ocena źródeł literaturowych

Pracę zamyka przegląd literatury, który zawiera 114 pozycji. Literatura jest w przeważającej części aktualna. Są to głównie artykuły w czasopiśmie, monografie, strony internetowe, odnośniki do regulacji prawnych, linki do dokumentacji technicznych elementów.

Bibliografia wymagałaby korekty, przykładowo warto dodać numery stron artykułów, czy w przypadku stron internetowych datę dostępu, ze względu na ich naturalną nietrwałość. Niektóre pozycje posiadają nazwiska pisane wersalikami, zamieniona jest kolejność nazwiska i imienia, w przypadku konferencji czasem brakuje roku, wymagałoby to uporządkowania.

5. Ocena struktury i redakcji pracy

Praca jest pisana poprawnym językiem. Występują nieliczne błędy interpunkcyjne, językowe, stylistyczne. Autor korzysta z poprawnych jednostek SI. W niektórych przypadkach

autor korzysta z żargonu. Dyskusyjne jest samo słowo „harvesting” na co autor sam zwraca uwagę. Również użycie złączeń np. termoharvesting budzi pewne wątpliwości.

Niepoprawne jest użycie określeń potocznych np. „kaloryfer” zamiast grzejnik.

Są drobne błędy np. na str. 96 „ROZWÓW” zamiast „ROZWÓJ” czy na tej samej stronie podwójne kropki czy wyraz „stasowania”.

Kilkanaście drobnych uwag edycyjnych zaznaczyłem na manuskrypcie. Są również sformułowania żargonowe np. „zmiana mocy ... jest związana z fizyką układu...”. Niektóre rysunki są niewyraźne albo zawierają zbyt małe czcionki opisów co utrudnia czytelność.

Niemniej jednak ogólne wrażenie po przeczytaniu pracy w kontekście edycji i układu jest pozytywne. W zasadzie jedyną istotną zmianą, która warta byłaby rozważenia jest usunięcie dwóch krótkich rozdziałów 4 i 7 i być może 12, które mogły stanowić integralną część rozdziałów po nich następujących.

Ogólnie narzuca się nadmierne stosowanie nazwy własnej produktu w kontekście pracy naukowej zwłaszcza w tezach, jednak ze względu na wdrożeniowy charakter doktoratu oraz osobiste zaangażowanie autora w powstawanie produktu jest to zrozumiałe.

6. Najważniejsze osiągnięcia rozprawy

Za najważniejsze osiągnięcia rozprawy uważam:

- wykonanie badań naukowych w zakresie mikro i makro instalacji gromadzących energię odzyskową,
- opracowanie koncepcji układu odzyskiwania energii cieplnej w dużym obiekcie przemysłowym oraz potwierdzenie tej koncepcji w realnym wdrożeniu w sferze gospodarczej, przynoszących konkretne zyski przedsiębiorcy, a więc tego czego oczekuje się od pracy doktorskiej o charakterze wdrożeniowym,
- wykonanie obliczeń, realizacja prototypów a następnie wykonanie badań potwierdzających obliczenia w zakresie zasilania drobnych urządzeń elektronicznych pomiarowych i sterujących, posiadających komunikację bezprzewodową, pobierających energię z różnorodnych źródeł energii resztkowej.

7. Pytania dyskusyjne

Podczas czytania pracy nasuwa się szereg pytań o charakterze dyskusyjnym. Poniżej kilka z nich.

1. Czy podczas używania harwesterów energii umieszczonych na oknach istnieje możliwość wykorzystania harwesterów dwustronnych? W tym zakresie w pracy pojawia się zależność napięcia od różnicy temperatur. Czy w kontekście powołania się w tekście na liniową zależność jest możliwość a) uwzględnienia lub wyjaśnienia braku, ujemnej różnicy temperatur b) wyznaczenia standardowych testów, np. wykorzystania współczynnika regresji, determinacji R^2 , prawdopodobieństwa testowego (p-value).
2. Proszę o analizę możliwości wykorzystania magazynów energii układów harvestingowych w skali mikro np. w oparciu o baterie litowe czy superkondensatory, które znacząco mogłyby rozszerzyć możliwości wykorzystania, w szczególności chodzi o schemat ideowy w przypadku korzystania z przetwornicy EM8900, wady i limity rozwiązań z akumulatorem np. litowych, warto również dokonać analizy użycia jako magazynów kondensatorów z podwójną warstwą Helmholtza. W tym zakresie podobne analizy przeprowadzono w rozdziale 11.
3. W rozdziale 11 znajduje się zależność napięcia od szybkości ładowania dla różnych kondensatorów. Jeżeli jest to możliwe, to proszę o wyznaczenie zależności napięcia od pojemności dla kilku stałych szybkości oraz zależności szybkości od pojemności dla kilku stałych napięć. Z czego wynika limit 5V na wykresie 73?
4. Czy pojemności zostały zmierzone czy brane ze specyfikacji producenta – z jaką tolerancją. W treści znajduje się informacja o badaniach superkondensatorów 0,1F, 0,22F, 0,33F jednak rysunek 73 oraz tabela 5 nie zawierają tych wyników, jest to pokazane osobno na rysunku 75. To pytanie dotyczy superkondensatorów ze względu na ich znaczące ograniczenia i odmienną charakterystykę pracy, szybkość, wartości prądów rozładowania w porównaniu ze standardowymi kondensatorami

elektrolitycznymi. Proszę o próbę zestawienia na jednym wykresie obu typów kondensatorów w celu oceny ich charakterystyk.

5. W pracy pojawia się możliwość zasilania urządzeń z energii przepływającej wody zimnej. Jak autor widzi możliwość pobierania energii z wody ciepłej. Dodatkowo jak ocenia możliwość pobierania energii z różnicy temperatur z dwóch pobliskich rur wody ciepłej i wody zimnej.
6. W rozdziale 12 na rysunku 84 znajduje się zależność napięcia od prędkości obrotowej. Proszę o wykorzystanie modelu wykładniczego zamiast spline oraz określenie podstawowych parametrów oraz oceny modelu np. z wykorzystaniem R^2 .
7. Również warto wykreślić przykładową zależność napięcia od wartości przekładni dla ustalonej prędkości obrotowej np. 20, 40, 60 obr./min. Przynajmniej dla przekładni 1:50 do 1:250 z pominięciem 1:1000.
8. W przypadku badania odzysku energii z zamykania drzwi użyto samozamykacza hydraulicznego. Nasuwa się możliwość wykorzystania regeneratora energii z hamulca elektromagnetycznego, czy jest możliwość kontroli regulacji siły samozamykacza lub wręcz demontażu tak aby to harwester stał się hamulcem.
9. Z czego wynika histereza na rysunku 88?
10. Proszę o zestawienie na jednym wykresie wszystkich opracowanych harwesterów w skali mikro w kontekście ich efektywności energetycznej lub procentowego udziału energii pozyskiwanej względem oczekiwanego zapotrzebowania.
11. Interesujący jest aspekt ekonomiczny proponowanych rozwiązań. O ile w przypadku rozwiązań makro wydaje się, że przynoszą one wymierne korzyści to bilans ekonomiczny rozwiązań w skali mikro pozostawia wiele do życzenia. Jak doktorant ocenia stopy zwrotu poszczególnych rozwiązań.

12. Jakie są problemy otwarte, czy doktorant widzi możliwość udoskonalenia proponowanych rozwiązań lub możliwość wykorzystania w nowych zastosowaniach.

8. Ocena końcowa

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemów naukowych, co istotne powiązanych z rozwiązaniem szeregu problemów inżynierskich i zakończonych wielokrotnym zastosowaniem w sferze gospodarczej.

Zamieszczone w recenzji uwagi merytoryczne i redakcyjne nie mają wpływu na moją **pozytywną ocenę** rozprawy doktorskiej p.t. „Wykorzystanie harvestingu energii w podnoszeniu efektywności energetycznej budynków z systemem zarządzania BMS i autonomicznym zasilaniu współpracujących z nim zdalnych układów czujnikowych”, której autorem jest mgr inż. Rafał Owczarczak.

Analiza zawarta w pracy potwierdza pogłębioną ogólną wiedzę doktoranta w zakresie nauk technicznych a recenzowana rozprawa jest wartościowa, na odpowiednim poziomie merytorycznym i wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Potwierdza również umiejętność samodzielnej pracy naukowej, rozwiązywania problemów naukowych, stosowania odpowiedniej metodologii w zakresie realizacji zaplanowanych zadań.

Po analizie recenzowanej rozprawy uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Rafała Owczarczyka p.t. „Wykorzystanie harvestingu energii w podnoszeniu efektywności energetycznej budynków z systemem zarządzania BMS i autonomicznym zasilaniu współpracujących z nim zdalnych układów czujnikowych”, spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, zawartym w art. 187 ust. z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U.2023.0.742) i stawiam wniosek o przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

