



Zachodniopomorski
Uniwersytet
Technologiczny
w Szczecinie

Tel: (0-91) 449 42 72, Fax: (0-91) 449 45 91

Wydział Inżynierii
Mechanicznej i Mechatroniki
Katedra Techniki Ciepłej
70-310 Szczecin, al. Piastów 17
e-mail: ktc@zut.edu.pl

Szczecin, 19. lutego 2018 r.

Administracja
Wydziału Inżynierii Środowiska
21 LUT. 2018
Wpłynęło dn.
Nr. 344 szl.

Politechnika Krakowska
Wydział Inżynierii Środowiska
Dziekanat
ul. Warszawska 24
31-155 KRAKÓW

W załączeniu przekazuję recenzję pracy doktorskiej dr. inż. Jacka Biskupskiego, wraz z kompletem dokumentów.

Przepraszam za znaczne opóźnienie w jej sporządzeniu, z którego mam nadzieję wytłumaczyć się osobiście.

prof. dr hab. inż. Aleksander A. Stachel

PANI PROF DR HAB INŻ A. ANIELAK

PRZEŁAZŁ PANI PROF DR STACHEL
PRZEWODNICZĄCY KOMISJI

DZIEKAN
Wydziału Inżynierii Środowiska
Politechniki Krakowskiej
dr hab. inż. Stanisław M. Rybicki

prof. dr hab. inż. Aleksander Andrzej Stachel
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Katedra Techniki Ciepłej
al. Piastów 19, 70-310 SZCZECIN

Szczecin, 31.01.2018 r.

Administracja
Wydziału Inżynierii Środowiska
21 LUT. 2018
Wpłynęło dn.
Nr. 344 szt.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej dr. inż. Jacka Biskupskiego

p.t. *Techniczne, ekonomiczne i środowiskowe aspekty wprowadzania przydomowych
odnawialnych źródeł energii w budynkach w Polsce*

Podstawą sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo o sygnaturze Ś0mm-520-1771/17 z dnia 29.09.2017 roku, podpisane przez Prodziekana Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej, dr. hab. inż. Tomisława Gołębiowskiego, prof. PK, wynikające z uchwały Rady Wydziału z dnia 20.09.2017.

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA TEMATU ROZPRAWY

Przedstawiona do recenzji praca autorstwa dr. inż. Jacka Biskupskiego powstała pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Dawida Talera, pełniącego w przewodzie doktorskim obowiązki promotora.

Praca liczy łącznie 149 ponumerowanych stron tekstu zasadniczego i składa się z 9 rozdziałów (s. 8-142) uzupełnionych spisem treści (s. 3-5); zestawieniem ważniejszych oznaczeń (s. 6-7) oraz spisem literatury (s. 143-147). Integralną jej częścią są 3 załączniki zawarte na 27 nienumerowanych stronach dołączonych do tekstu głównego. W części zasadniczej pracy zamieszczonych jest 19 rysunków i wykresów, 13 tabel i 31 numerowanych zależności (wzorów). Uzupełnieniem jest streszczenie pracy w języku polskim (s. 148) oraz w języku angielskim (s. 149). Spis literatury obejmuje 92 pozycje reprezentatywne dla tematu dysertacji oraz 4 komputerowe programy obliczeniowe.

Problematyka rozprawy doktorskiej dotyczy złożonych technicznych, ekonomicznych i środowiskowych aspektów wprowadzenia w Polsce przydomowych odnawialnych źródeł energii w obiektach mieszkalnych klasyfikowanych jako tzw. budynki zero-energetyczne bądź dążące do zero-energetyczności, a więc zagadnienia ważnego ze względu na zaspokojenie potrzeb energetycznych, jak też optymalizację i racjonalizację wykorzystania energii, w tym ze źródeł pierwotnych. Podjęcie tej tematyki znajduje uzasadnienie m.in. w przyjętych dyrektywnych zobowiązaniach, co do udziału energii z OZE w bilansie energetycznym kraju, z jakich Polska powinna wywiązać się do roku 2020. Jednym ze sposobów osiągnięcia tego celu jest wykorzystanie OZE w szeroko rozumianych gospodarstwach domowych.

Przystąpienie Polski do EU wymusiło unifikację przepisów prawnych, normatywnych i technicznych, skutkując wielorakimi zobowiązaniami i warunkami do spełnienia. Dotyczą one m.in. obszaru energetyki i oddziaływań środowiskowych, w szczególności pozyskiwania i wykorzystania energii, także racjonalizacji jej zużycia. Jednym z kierunków tych działań jest dyrektywa 20/20/20 definiująca m.in. udział energii z OZE, a jej efektem - potrzeba zmian prawnych i wprowadzenia mechanizmów wsparcia i kontroli w tym zakresie.

Dotyczy to w szczególności budownictwa mieszkaniowego, gdzie jednym z problemów jest wysoka energochłonność budynków, w Polsce znacznie przekraczająca średnie wartości zapotrzebowania na energię końcową w EU, przy czym obserwowane znaczące różnicowanie potrzeb energetycznych obiektów mieszkalnych wynika z okresu ich budowy,

możliwości inwestycyjnych oraz stosowanych (dostępnych) technologii. Można przyjąć, że wymagania odnośnie ograniczenia energochłonności nowobudowanych domów zostały wprowadzone w Polsce dopiero na początku lat 90. ub. wieku. W związku z tym wskazane jest podjęcie działań mających na celu poprawę stanu energetycznego obiektów starych i zrównanie / przybliżenie zużycia w nich energii do obowiązujących standardów.

Jednym z zamierzeń współczesnego budownictwa jest realizacja koncepcji budynku zbilansowanego energetycznie (nZEB), czyli o zerowym bilansie energii na granicy bilansowej gospodarstwa domowego, przy czym EU zakłada osiągnięcie stanu nZEB w perspektywie roku 2020, przyjmując, że będzie to możliwe tylko przez wprowadzenie OZE obniżających zapotrzebowanie na energię pierwotną, i jednocześnie redukujących negatywne oddziaływania środowiskowe. Działania te wymuszane są kolejnymi dyrektywami i normami. W Polsce od 2017 r. obowiązują nowe Wytyczne Techniczne, wprowadzające zaostrzone wymagania co do izolacyjności obudowy obiektów mieszkalnych, wskazujące na konieczność stosowania OZE jako sposobu zmniejszenia nadmiernego zużycia energii pierwotnej. W świetle tego można przyjąć, że realne obniżenie zapotrzebowania na energię pierwotną, będzie zależało od szeregu czynników: technicznych, ekonomicznych i środowiskowych, co wymaga wielokryterialnego traktowania tego problemu, w tym wykorzystania OZE.

Zagadnienie jest złożone, a analiza kłopotliwa i trudna. Dodatkową komplikacją jest różnorodność budynków mieszkalnych wymagających kompleksowej analizy rzeczywistego zapotrzebowania na energię, prowadzenia zabiegów termo- i energo-modernizacyjnych oraz wprowadzenia OZE. Należy podkreślić, że podjęcie badań w tym temacie jest ważne nie tylko ze względu na znaczenie poznawcze, ale i odniesienia utylitarne, zaś recenzowana praca wychodzi naprzeciw tym celom i stanowi próbę opisanie i weryfikacji problemu. ***Stąd moja pozytywna ocena zarówno tematu, jak i zakresu badań podjętych przez Doktoranta.***

2. OCENA MERYTORYCZNA PRACY

W dysertacji można wyróżnić dwie części, z których pierwsza stanowi literaturowo-analityczną charakterystykę problemu - definicyjną, prawną, normatywną, techniczną itd. (rozdziały 3-5), druga przybliża eksperyment badawczy mający na celu weryfikację opracowanych modeli i przyjętych założeń i celów (rozdziały 6-9). Z racji ich obszerności, poszczególne rozdziały omawiam poniżej w sposób syntetyczny, formułując oceny cząstkowe składające się na finalną ocenę rozprawy.

2.1. Treść rozprawy

Rozdział *pierwszy* (s. 13-16) zawiera rzeczowe wprowadzenie w tematykę dysertacji, w którym Doktorant szczegółowo omówił uwarunkowania jakie legły u podstaw wyboru przedmiotu, celu i zakresu jego pracy.

W oparciu o wnikliwą i rzetelną analizę stanu wiedzy zawartej w dostępnej literaturze tematu, omówił współczesne wyzwania wynikające z teorii J. Rifkina, w założeniach oznaczające rezygnację z wykorzystania energii pozyskiwanej z paliw kopalnych na rzecz energetyki OZE. Szczególną uwagę zwrócił na jej współzależność z polityką energetyczną EU, od 2000 r. zmierzającą w kierunku radykalnego zwiększenia udziału OZE i jednocześnie redukcji zapotrzebowania na energię pierwotną we wszystkich krajach członkowskich. Scharakteryzował nowe podejście zakładające tworzenie niezależnych energetycznie enklaw zamieszkania, będących jednocześnie układami gospodarki obiegu zamkniętego, przy czym istotnym ich elementem jest budynek z instalacją prosumencką, aktywnie oddziałujący na środowisko naturalne (energia, woda, odpady), tworzony z uwzględnieniem „cyklu życia technologii” dla minimalizacji obciążeń środowiskowych.

Rozważania te Doktorant odniósł, pod kątem konsumpcji energii, do stanu budynków mieszkalnych w Polsce, zwłaszcza do obiektów starych i na obszarach wiejskich, zwracając

uwagę na wyzwania związane z ich modernizacją do klasy nisko- i niemal-ZEB, sugerując, iż same działania termomodernizacyjne nie będą w stanie doprowadzić do spełnienia oczekiwań. **Stanowi to uzasadnienie wyboru tematu dysertacji.**

Na tym tle, mając na względzie konieczność realizacji zasady tzw. zrównoważonej i efektywnej gospodarki energetycznej oraz późniejszej racjonalnej energetycznie eksploatacji budynków mieszkalnych, Doktorant sprecyzował potrzebę opracowania modeli analitycznych umożliwiających prowadzenie symulacji prognostycznych zachowań instalacji OZE oraz wieloaspektową analizę ich pracy. Osobnym zagadnieniem jest weryfikacja opracowanych modeli w warunkach rzeczywistych.

W kontekście tych rozważań oraz sprecyzowanego celu i zakresu pracy, w *rozdziale drugim* została sformułowana zasadnicza teza rozprawy, która brzmi:

Możliwe jest osiągnięcie w warunkach polskich, w skali jednego roku (365 dni), zerowego bilansu energetycznego dla budynku jednorodzinnego poprzez zamontowanie w nim odpowiednio dobranych źródeł OZE, zsynchronizowanie ich z siecią energetyczną oraz wykorzystywanie sieci (OSD) jako zasobnika.

Efektom dodatkowym tych działań powinna być znaczna poprawa oddziaływania budynku na otaczające środowisko, a także atrakcyjność ekonomiczna przedsięwzięcia.

Wynika stąd, że zasadniczym celem pracy Doktoranta było rozpoznanie i opisanie zjawisk towarzyszących energetycznej eksploatacji budynku (*cel poznawczy pracy*) oraz ocena możliwości pokrycia potrzeb ze źródeł własnych (OZE), a w szczególności ustalenie wpływu warunków eksploatacji na obniżenie mocy elektrycznej / cieplnej konsumowanej w określonym przedziale czasu, potwierdzone eksperymentem, co powinno dać odpowiedź oraz dowód na postawioną powyżej tezę (*cel aplikacyjny*).

W kontekście powyższego uważam, że zarówno cele jak i teza pracy zostały przez Doktoranta sformułowane poprawnie. To samo dotyczy tezy pomocniczej podanej poniżej.

W *rozdziale trzecim* (s. 19-40) Doktorant zawarł obszerną analizę literatury tematu i wynikające z niej wnioski, ze szczególnym odniesieniem do ogólnych metod projektowania nowych budynków, a także problemów energochłonności budynków istniejących. Na tym tle, w kolejnych podpunktach przybliżył podstawy projektowania budynków z instalacjami OZE, zwracając uwagę na znaczenie projektowania zintegrowanego, z uwzględnieniem tzw. cyklu życia danej technologii. Ponadto omówił wpływ warunków zewnętrznych (klimatycznych, siedliskowych) na zapotrzebowanie energii końcowej i możliwości wprowadzenie danych technologii, a także optymalizowania konstrukcji obudowy nowych i istniejących budynków w kierunku nZED i blisko-ZED. Zwrócił uwagę na zróżnicowane możliwości wyposażenia budynku w instalacje OZE – ograniczone dla terenów miejskich (PV, biomasa) i dostępne dla terenów wiejskich (biomasa, biogaz, PV, wiatr). Istotną część rozdziału dotyczy problemu termomodernizacji budynków i zawiera opinię, że o jej skuteczności można mówić dopiero w przypadku termomodernizacji III generacji, obejmującej wiele jego elementów, w tym system grzejny i wentylacyjny, czyli dotyczącej znacznej ingerencji w strukturę obiektu.

Omówione zostały także założenia techniczne dla nowo powstających budynków, które powinny być zbilansowane energetycznie, w tym doboru materiałów, systemów grzewczych, współczynników nakładów energii pierwotnej, uzysków energii (np. słonecznej) i innych. Wiąże się to z problematyką tzw. komfortu klimatycznego budynku nZEB, przy czym Doktorant proponuje własną jego definicję, odnoszącą się do większej liczby parametrów (co zresztą jest dzisiaj standardem), niż przyjmowana w ujęciu klasycznym.

Na tej podstawie Doktorant zdefiniował drugą, pomocniczą tezę pracy zgodnie z którą:
Przydomowe instalacje OZE (...) mogą w warunkach polskich, w określonym czasie, wytworzyć odpowiednią ilość energii potrzebną do zbilansowania strumieni energii własnej i kupowanej do zapewnienia komfortu klimatycznego budynku energooszczędnego,

przy czym wprowadził zastrzeżenie, że warunkiem osiągnięcia tego stanu jest spełnienie szeregu postulatów i warunków wstępnych, których dyskusję zawarł w pracy.

Tym samym bilans budynku nZEB staje się zależny od wielu uwarunkowań (od geograficznych po techniczne), które zawsze muszą być brane pod uwagę w procesie projektowania zintegrowanego czy modernizacji obiektu, łącznie z zachowaniem właściwej kolejności postępowania przy ocenie i wyborze technologii OZE. Stopień potencjalnego zbilansowania budynku z lokalnymi OZE musi wynikać z obliczeń strat własnych przez obudowę oraz potrzeb energetycznych mieszkańców, w tym docelowo - dla e-pojazdów. Osobnym zagadnieniem jest analiza ekonomiczna i środowiskowa wprowadzenia OZE.

Ważną część stanowi omówienie klasyfikacji budynków pod względem zużycia energii, a także przybliżenie problemu rewitalizacji wielu obiektów istniejących, które wg Doktoranta trudno będzie przekształcić w budynki zbilansowane energetycznie bez wprowadzenia zasadniczych zmian w ich konstrukcji, nawet przy zastosowaniu OZE o znacznej mocy.

Ten dość obszerny przegląd materiału dowodzi dobrego rozeznania w aktualnym stanie wiedzy i pracach badawczych dotyczących tej niewątpliwie trudnej tematyki będącej przedmiotem rozprawy doktorskiej.

Na podstawie wnikliwej analizy, w *rozdziale czwartym* (s. 40-57) Doktorant podał opis autorskiej koncepcji jednorodzinnego domu zero-energetycznego, wyposażonego w mono-energetyczny system grzewczy, bazujący na energii elektrycznej jako podstawowym i jedynym nośniku energii źródłowej, to jest na zespołach pomp ciepła zasilanych energią pozyskiwaną lokalnie w granicach bilansowych budynku. W tym kontekście zwrócił uwagę na rolę generacji energii elektrycznej ze źródeł OZE, wskazując jako realne źródło - instalacje fotowoltaiczne (PV), a także - ze względu na dobowość i sezonowość generacji - kluczową rolę stosowania zasobników energii w jej bilansowaniu. Istotnym i ważnym elementem jest tutaj zautomatyzowany system zarządzania budynkiem, realizujący wcześniej określoną strategię zarządzania energią. Na tym tle Doktorant omawia opracowane i możliwe do realizacji scenariusze postępowania systemu zarządzania, to jest: komfortowy, ekologiczny i zero-energetyczny (zrównoważony), szczegółowo przedstawione w dysertacji.

W *rozdziale piątym* pracy (s. 58-76) została sprecyzowana i omówiona problematyka bilansowania energetycznego budynku n-ZEB, przy czym w kolejnych punktach przybliżono teoretyczne podstawy tworzenia bilansu budynku energooszczędnego z własnymi źródłami energii odnawialnej, scharakteryzowano rolę OZE, a także omówiono problem określania granicy bilansowej. Efektem tych rozważań jest zaproponowany autorski bilans energii budynku zero-energetycznego współpracującego z zasobnikiem energii, opracowany przez Doktoranta w ujęciu matematycznym dla trzech rodzajów instalacji: zsynchronizowanej z siecią OSD (*on-gird*), wydzielonej – wyspowej (*off-gird*) oraz hybrydowej (okresowo *off-gird / on-gird*). Uzupełnieniem tej problematyki jest omówienie wydajności instalacji PV, istotnej ze względu na rolę w generacji energii elektrycznej jako energii źródłowej.

Drugą część pracy doktorskiej stanowią kolejne dwa rozdziały, w których zawarto omówienie eksperymentu badawczego, zrealizowanego przez Doktoranta.

W *rozdziale szóstym* (s. 77-106) została omówiona metodyka badań, ich przebieg, a także uzyskane wyniki. W kolejnych podpunktach Doktorant opisał metodę badawczą, podał szczegółowy cel eksperymentu, scharakteryzował przedmiot badań, a także omówił jego dwa warianty. W eksperymencie wykorzystano jednorodzinny budynek mieszkalny, wyposażony pierwotnie w kondensacyjny kocioł gazowy i system wysokosprawnej rekuperacji. W wariantie pierwszym eksperymentu, trwającym od maja 2015 do maja 2016, w miejsce kotła gazowego zastosowano kocioł na biomasę oraz zainstalowano zespół paneli PV. W wariantie drugim (maj 2016 - maj 2017) kocioł na biomasę zastąpiono zespołem

pomp ciepła (gruntową - na cele c.o. i dwiema powietrznymi: (1) na potrzeby przygotowania c.w.u. i (2) na potrzeby dogrzewania / schładzania powietrza wentylacyjnego). Ponadto rozbudowano zespół paneli PV i zainstalowano siłownię wiatrową małej mocy. W celu poprawy izolacyjności obiektu doszczelniono budynek i zainstalowano gruntowy wymiennik ciepła (wentylacja). Moce urządzeń dobrano z wykorzystaniem autorskiego programu symulacyjnego, który w obu przypadkach wskazywał możliwość osiągnięcia stanu zeroenergetycznego budynku w skali roku, przy założeniu akumulacji nadwyżek generowanej energii elektrycznej w okresie letnim i odzyskaniu ich w okresie grzewczym.

Dla każdego z wariantów omówiono matematyczny model opisujący strumienie energii zużywanej i niezbędnej do wygenerowania, opracowany na podstawie danych normowych, mocy zainstalowanych urządzeń i profilu zużycia energii. Uzyskane dane rzeczywiste (z eksperymentu) i otrzymane jako rezultat modelowania komputerowego, posłużyły do przeprowadzenia krytycznej analizy i oceny wyników. Ponadto w rozdziale zawarto omówienie: zysków energii od mieszkańców i przez przeszklenia, problemu bilansowania międzyfazowego oraz problemu zapewnienia komfortu termicznego w okresach ograniczeń dostępności energii z OZE.

W efekcie prowadzonych prac, Doktorant wykazał zadowalającą zgodność modelowania przebiegu procesów energetycznych z otrzymanymi wynikami pomiarów. Wykazał także, że przeprowadzenie termomodernizacji III generacji umożliwia doprowadzenie bilansu energetycznego do stanu zerowego, tylko w wyniku zastosowania monowalentnego systemu grzewczego zasilanego z OZE (pompy ciepła) oraz wykorzystania systemu zarządzania infrastrukturą budynku (BMS).

W rozdziale siódmym pracy (s. 107- 137) została zawarta ocena ekonomiczna oraz ekologiczna proponowanych rozwiązań.

W ocenie ekonomicznej Doktorant odniósł się przede wszystkim do analizy kosztów inwestycyjnych i określenia okresu zwrotu nakładów. Wykazał, że nie wszystkie możliwe do wprowadzenia technologie OZE mają szanse zwrócić się w okresie amortyzacji, stwierdzając, że w Polsce najbardziej uzasadnione ekonomicznie do zastosowania w budynkach nZEB i niemalZEB są instalacje PV. Natomiast instalowanie mikroturbin wiatrowych, ze względu na niewielką ilość generowanej energii elektrycznej, nie znajduje uzasadnienia ekonomicznego. Z tego też powodu TW nie powinny być rozpatrywane jako efektywne przydomowe OZE, o ile nie udokumentowano odpowiedniego potencjału energii wiatru. Ponadto w odniesieniu do metod składowania nadwyżek energii z OZE (instalacja prosumencka) Doktorant stwierdził, że najbardziej uzasadnionym ekonomicznie sposobem wydaje się być składowanie w sieciach OSD, przy czym koszt tej operacji jest znacznie niższy od kosztu składowania w pozostałych porównywanych zasobnikach.

Drugą ważną ocenę – ocenę oddziaływania ekologicznego - Doktorant przeprowadził w oparciu o tzw. emisję unikniętą, wynikającą z zaniechania spalania paliwa konwencjonalnego. W pracy podał, że proponowane rozwiązania, czyli użycie zestawów pomp ciepła, kotłów na biomasę i paneli PV, spełnia najbardziej rygorystyczne wymagania w zakresie emisji gazów cieplarnianych i stanowi dobrą alternatywę dla kotłów na paliwa nieodnawialne. Ponadto przeprowadzona analiza wpływów oddziaływania na środowisko naturalne wybranych typów instalacji OZE: (PV, TW, PC, kocioł na biomasę) wykazuje, że najbardziej pro-środowiskową jest technologia fotowoltaiczna, a proponowane rozwiązania stwarzają minimalne zagrożenia w procesie utylizacji po okresie ich użytkowania.

Na tej podstawie można wysnuć wniosek, że proponowane przez Doktoranta warianty stanowią przykład budownictwa w pełni zrównoważonego i są dobrą podstawą do rozwijania siedlisk mogących stanowić centra gospodarki obiegu zamkniętego, przy czym niezbędne jest wprowadzenie zasad użytkowania energii ściśle dopasowanych do posiadanych źródeł OZE

i zasobników energii (np. strategii proponowanych w dysertacji), wymagające jednak stosowania odpowiednich urządzeń / systemów sterowania (BMS).

Ostatnie dwie części dysertacji to: *rozdział ósmy* (s. 139-140) - zawierający obszerne podsumowanie pracy oraz *rozdział dziewiąty* (s. 142) – w którym podano ostateczne wnioski wynikające z pracy.

2.2. Ocena merytoryczna pracy

Przedstawiona do oceny dysertacja stanowi interesującą pracę o dobrym poziomie merytorycznym i dużym znaczeniu utylitarnym, dotyczącą wielorakich aspektów stosowania przydomowych instalacji wykorzystujących odnawialne źródła energii (OZE) współpracujących z zaawansowanymi systemami zautomatyzowanego zarządzania energią (BMS) w budynkach tzw. zeroenergetycznych i dążących do zero-energetyczności.

Zasadniczym jej celem była ocena wykorzystania potencjału OZE do pokrycia pełnych potrzeb domu nZEB, czyli stwierdzenie, zgodnie z postawioną zasadniczą tezą pracy, czy *możliwe jest osiągnięcie w warunkach polskich, w skali jednego roku, zerowego bilansu energetycznego dla budynku jednorodzinnego poprzez zamontowanie w nim odpowiednio dobranych źródeł OZE, zsynchronizowanie ich z siecią energetyczną oraz wykorzystywanie sieci (OSD) jako zasobnika*.

Ponadto praca miała dać odpowiedź, czy *przydomowe instalacje OZE (...) mogą w warunkach polskich, w określonym czasie, wytworzyć odpowiednią ilość energii potrzebną do zbilansowania strumieni energii własnej i kupowanej do zapewnienia komfortu klimatycznego budynku energooszczędnego (teza pomocnicza)*.

W założeniu, obie tezy powinny zostać potwierdzone / lub zanegowane długoterminowym eksperymentem badawczym.

Tym samym Autor podjął się trudnego zadania wymagającego komplementarnej oceny i opisu procesów generacji, konsumpcji i magazynowania energii w odniesieniu do rozpatrywanego obiektu mieszkalnego, a także przeprowadzenia kompleksowej jego oceny pod względem eksploatacyjnym i dostosowawczym do budynku typu nZEB lub blisko-ZEB. W związku z tym Doktorant:

- przeprowadził obszerną kwerendę literatury tematu, w tym przepisów normowych, technicznych, eksploatacyjnych i prawnych dotyczących rozpatrywanej problematyki (w Polsce i EU);
- przeprowadził wnikliwą analizę definicji oraz sposobów sporządzania i obliczania bilansów energii budynków mieszkalnych tzw. zero-energetycznych i na tej podstawie zaproponował własne rozwiązanie (równanie bilansu z uwzględnieniem obowiązujących przepisów);
- opracował zależności opisujące relacje strumieni energii wpływającej do budynku, energii uzyskanej z OZE oraz energii składowanej w OSD;
- opracował autorski program obliczeniowy pozwalający oszacować możliwości uzyskania bilansu zero-energetycznego dla budynku o znanych strumieniach przepływów energii (program: Bilans_nZEB).

Celem weryfikacji opracowanych modeli oraz przyjętych założeń, Doktorant wykonał długoterminowy eksperyment z wykorzystaniem rzeczywistego, funkcjonującego budynku mieszkalnego, jako obiektu badanego. Eksperyment polegał na zainstalowaniu określonych urządzeń z grupy OZE i prowadzeniu pomiarów bilansowych w dwóch kolejnych pełnych rocznych sezonach grzewczych i miał na celu potwierdzenie tez pracy. W efekcie badania wykazały osiągnięcie (w obu wariantach) zerowego bilansu energetycznego, co zostało potwierdzone brakiem opłat za energię elektryczną dostarczoną w okresie badawczym przez lokalnego dystrybutora, a także ilością zużytego biopaliwa pozyskanego z uprawy własnej.

Na tej podstawie, po przeprowadzeniu analiz technicznych, ekonomicznych oraz środowiskowych, Doktorant zaproponował dwa optymalne zestawy urządzeń OZE dla hipotetycznego budynku mieszkalnego, który ma być klasyfikowany jako obiekt zero-energetyczny lub dążący do zero-energetyczności.

- Dla budynków poddanych podstawowej termomodernizacji, dysponujących własną biomasą – źródłem ciepła na potrzeby c.o. i przygotowania c.w.u. powinien być ekologiczny kocioł biomasowy (klasy V), przydatny także dla budynków o dużym zapotrzebowaniu na energię końcową, w szczególności dla gospodarstw wiejskich, gdzie istnieje możliwość uprawy biomasy paliwowej oraz dla domów podmiejskich, wykazujących wysoką energochłonność (wykorzystanie biomasy handlowej).
- Dla budynków nowopowstających, zgodnych z WT-2017, źródłem ciepła powinien być zestaw odpowiednio dobranych pomp ciepła, a także gruntowy wymiennik ciepła (dla potrzeb wentylacji), współpracujące z systemem zintegrowanego zarządzania budynkiem i energią (BMS).

W obu przypadkach jako źródło energii elektrycznej przewidziane są indywidualnie dobrane przydomowe instalacje PV, zsynchronizowane z lokalną siecią dystrybucyjną OSD, pełniącą rolę magazynu energii.

Można przyjąć, że wnioski te stanowią swoiste uzupełnienie WT-2017 w zakresie doprecyzowania rodzajów OZE pod kątem ich doboru i stosowania. Natomiast przyjęta przez Doktoranta metodologia przejścia na zasilanie budynku z własnych źródeł energii, z uwzględnieniem częściowego jej składowania w sieci OSD, stanowi istotne jego osiągnięcie, przy czym nie została bliżej omówiona w dysertacji.

Odnosząc się do uzyskanych i przedstawionych w pracy wyników badań i obliczeń można stwierdzić, że:

- w zakresie postawionego celu badawczego Doktorant dokonał pogłębionego rozpoznania warunków i zasad bilansowania energetycznego budynków nZEB i blisko-ZEB, opracowując własne modele opisujące eksploatację budynku pod względem zużycia energii oraz możliwości pokrycia potrzeb ze źródeł własnych (OZE), wraz z omówieniem wpływu warunków eksploatacji na obniżenie zapotrzebowania mocy elektrycznej / cieplnej w określonym przedziale czasu;
- w odniesieniu do sformułowanych w rozprawie doktorskiej tez Doktorant potwierdził, że w warunkach Polski jest możliwe uzyskanie w gospodarstwie domowym, w domu wolnostojącym, zbilansowania w ciągu pełnego roku strumieni energii pobranej i wygenerowanej / oddanej w całkowitym zakresie potrzeb energetycznych budynku. Ponadto udowodnił, że przydomowe instalacje OZE mogą w warunkach polskich, w określonym czasie, wytworzyć odpowiednią ilość energii potrzebną do zbilansowania strumieni energii własnej i kupowanej do zapewnienia komfortu klimatycznego budynku energooszczędnego.

Udowodnienie tych tez wiązało się z potrzebą prac analityczno-badawczych mających na celu opracowanie założeń (modeli) optymalizacji wykorzystania zasobów OZE, a tym samym wymagało komplementarnej funkcjonalnej analizy wpływu, uwzględniającej wieloaspektowe wytwarzanie energii elektrycznej, uzależnionej od zapotrzebowania przez jej odbiorców.

Jednym z ważnych efektów pracy jest twierdzenie, że wprowadzenie jednego, standardowego rozwiązania technicznego OZE dla wszystkich budynków w Polsce nie jest możliwe. Dobór właściwej technologii jest złożony, a jednym z wniosków - wykazanie istnienia szeregu uwarunkowań mających wpływ na możliwości efektywnego zastosowania określonych rozwiązań w danym budynku. Doktorant wykazał, że warunkiem koniecznym osiągnięcia pełnego energetycznego bilansowania obiektu jest:

- odpowiednie przygotowanie obudowy budynku (termomodernizacja, uszczelnienie, zmiana systemu wentylacji klimatyzacji i ogrzewania; wymiennik gruntowy na potrzeby wentylacji, wprowadzenie OZE, inne);
- zamiana wszystkich urządzeń domowych na zasilane energią elektryczną;
- indywidualny dobór źródeł OZE do danego budynku (położenie, obudowa) oraz sposobu użytkowania infrastruktury (przyzwyczajenia mieszkańców).
- zainstalowanie zasobników energii (elektrycznej, cieplnej) lub / i podłączenie źródeł OZE jako instalacji prosumenckiej do OSD;
- wprowadzenie strategii użytkowania energii w sposób ściśle dopasowany do posiadanych OZE i zasobników energii,
- zainstalowanie skutecznego systemu zarządzania całościowego energią w budynku w skali okresu rozliczeniowego (BMS).

Jednocześnie wskazał, że proponowane rozwiązania mogą być korzystne ekonomicznie i wywierają pozytywny wpływ na środowisko naturalne (instalacje pro-środowiskowe).

Reasumując powyższe pragnę jednoznacznie stwierdzić, że w mojej ocenie Doktorant osiągnął zamierzony cel pracy i udowodnił jej tezę. Zrealizował postawione przed nim zadania, zarówno w zakresie modelowania procesów energetycznych budynku, jak i eksperymentalnej weryfikacji opracowanych modeli, przy czym modele te należy zaliczyć do Jego ważnych osiągnięć, podobnie jak przeprowadzony eksperyment stanowi ważny efekt aplikacyjny.

2.3. Uwagi merytoryczne

Wnikliwa lektura pracy nasunęła mi jednak szereg uwag, w tym następujące, których wyjaśnienie przez Doktoranta byłoby wskazane, a mianowicie:

- W rozdziale 6 jest opisana metodyka postępowania w eksperymencie i omówione uzyskane wyniki. Ponieważ jest to ważna część pracy, moim zdaniem powinna być bardziej uszczegółowiona w opisie przedmiotu badań i sposobu ich prowadzenia. Ponadto, czy nie należało zamieścić wyników prowadzonych pomiarów?

- W pracy podano ogólną charakterystykę budynku i wybrane parametry eksploatacyjne (zużycie energii). Jeśli budynek ma być traktowany jako wzorcowy, a zaproponowane rozwiązania – jako modelowe, czy nie byłoby wskazane podanie jego szczegółowej charakterystyki technicznej (sposób wykonania, technologia termomodernizacji, parametry izolacyjności termicznej itd.). W pracy (s. 80) jest co prawda mowa o stratach termicznych, badaniu termowizyjnym i przeprowadzonej na tej podstawie poprawie termoizolacyjności, z odwołaniem do załącznika nr 1, w którym podano wyniki badania szczelności obudowy. W takim razie, czego dotyczyła termomodernizacja? (s. 82).

- W analizach (bilansach) pominięto strumień energii tzw. uzysków własnych i energię uzysków z promieniowania słonecznego (co uzasadniono). Czy w bilansie brano pod uwagę nakład energetyczny związany z uprawą i pozyskaniem biomasy (owies)?

- W pracy brak jest szczegółowych informacji na temat zastosowanych instalacji PV, pomp ciepła, wymiennika gruntowego (PC na potrzeby c.o.) itd, Uważam, że wskazane byłoby wyszczególnienie podstawowych danych technicznych tych urządzeń. Ponadto wskazane byłoby przedstawienie / omówienie wyników pomiarów ich pracy, np. uzysków / zużycia energii itd. Czy takowe były prowadzone i w jakim zakresie?

- W pracy zasygnalizowano zastosowanie zasobników energii w postaci akumulatorów chemicznych (energia elektryczna), a także wspomniano o turbinie wiatrowej małej mocy. Na jakiej podstawie oceniono brak jej przydatności.

- W rozdziale 6.2.1 i 6.2.2 (s. 88) zamieszczono graficzne bilanse sporządzone dla budynku nZEB, dla analizowanych wariantów eksperymentu. Można wnioskować, że są to wyniki uzyskane na podstawie modeli obliczeniowych. Jak w takim razie korespondują z wynikami rzeczywistymi (pomiarów)?

- Czy postępowanie mieszkańców wpłynęło na uzyskanie zerowego bilansu energii? Brak jest możliwości porównania zużycia energii (c.o., c.w.u., sprzęt AGD itd.) w okresie przed i w trakcie eksperymentu. Na ile prowadzone regulacje wpływają na efekt końcowy bilansu?

Chciałbym nadmienić, że powyższe uwagi nie mają wpływu na moją pozytywną ocenę dysertacji, której zasadniczym celem było wykazanie, że *możliwe jest zbilansowanie dla określonego przedziału czasu strumieni energii wygenerowanej i pobranej w całym zakresie potrzeb energetycznych*, a także, że *instalacje OZE mogą wytworzyć odpowiednią ilość energii potrzebną do zbilansowania strumieni energii*, co zostało przez Doktoranta osiągnięte i wykazane.

Ponieważ praca koncentruje się na sumarycznym aspekcie bilansowo-rozliczeniowym, w mniejszym zakresie omawiając szczegóły eksperymentu, recenzent czuje pewien niedosyt informacji odnośnie części eksperymentalnej, i nurtuje go pytanie, czy potwierdzenie tez pracy musi bazować tylko na zerowej fakturze za dystrybuowaną energię. Przy czym należy podkreślić, że stanowi ona faktyczne potwierdzenie tez.

2.4. Ocena strony redakcyjnej pracy

Oceniając stronę redakcyjną uważam, że rozprawa została napisana mało zwięźle i mało klarownie. Pracę czyta się źle, co między innymi przełożyło się na opracowanie niniejszej recenzji. Pomimo, że układ pracy można przyjąć za poprawny, a kolejność rozdziałów jest akceptowalna, problemem jest nadmiar zawartych w niej informacji (nie zawsze istotnych i potrzebnych) oraz sposób ich przedstawienia. Sprawia to, że praca jest trudna w odbiorze i analizie zawartości, przede wszystkim ze względu na wielowątkowość i sposób prezentacji. Sam tekst zawiera powtórzenia, a niektóre informacje są podawane wielokrotnie w różnych rozdziałach, co nie zawsze jest konieczne. Uważam, że możliwe było jego skrócenie chociażby poprzez pominięcie rzeczy mniej istotnych i usystematyzowanie pozostałych.

Oprócz tego, Doktorant nie ustrzegł się licznych usterek o charakterze językowym stylistycznym i redakcyjnym. Użyty w pracy język jest poprawny, natomiast w wielu miejscach korekty wymaga tekst, w którym występują: błędy literowe, błędy odmiany wyrazów, skróty myślowe i niekiedy - mało precyzyjny opis.

Zastrzeżenie budzi również opracowanie edytorskie, w szczególności:

- mało staranne sformatowanie tekstu: różny krój oraz wielkość czcionki (np. s. 77), zróżnicowana interlinia (s. 77), niezachowanie marginesów, brak wyjustowania tekstu, jak i wzorów (s. 70), niezgodna z zasadami formatowania numeracji wzorów, błędy w sposobie oznaczenia (np. [15] – literatura czy wzór?; s. 78), itd.;
- formatowanie rysunków (np. s. 55, 83), opisy rysunków (j. polski / j. angielski, s. 61); podpisy pod rysunkami – raz góra, raz dół (np. s. 84, rys. 6, rys. 7); podpis na innej stronie (s. 98, rys. 12), itd.;
- cytowanie rysunków, wzorów jest często bardzo odległe od ich umiejscowienia w tekście, co przy zastosowanym sposobie numeracji komplikuje czytanie;
- kłopotliwa, także błędna numeracja wzorów (s. 64) - może lepiej było numerować wg rozdziałów;

co sugeruje, że Autor nie przeprowadził starannej, ostatecznej korekty i weryfikacji tekstu. Nie są to oczywiście uwagi wpływające na merytoryczną ocenę pracy, ale rzutują na jej ogólny wizerunek i odbiór.

Pragnę jednoznacznie stwierdzić, że nie mam żadnych wątpliwości co do tego, że Doktorant prawidłowo zrealizował zamierzony cel pracy i udowodnił postawione w niej tezy. Nie mam też wątpliwości, że oceniana praca jest udanym eksperymentem analityczno-badawczym, zrealizowanym na dobrym poziomie merytorycznym, a omawiany w niej problem ma duże znaczenie poznawcze, jak i użyteczne. Tym samym chcę zaznaczyć, że wymienione powyżej uwagi w niczym nie umniejszają mojej pozytywnej oceny dysertacji.

3. WNIOSEK KOŃCOWY

Reasumując stwierdzam, że przedłożona do recenzji dysertacja autorstwa dr. inż. Jacka Biskupskiego, zatytułowana: *Techniczne, ekonomiczne i środowiskowe aspekty wprowadzania przydomowych odnawialnych źródeł energii w budynkach w Polsce*, spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku *O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz.U. z 2003 r. Nr 65, poz.595), stawiane rozprawom doktorskim. Zawiera bowiem oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego oraz dowodzi odpowiedniej wiedzy Doktoranta przede wszystkim z obszaru gospodarki energetycznej, racjonalizacji zużycia energii i odnawialnych źródeł energii, a także z zakresu modelowania matematycznego potrzeb energetycznych budynku mieszkalnego. Uważam, że podjęta przez Doktoranta tematyka badawcza jest trudna, ale ważna i istotna, przede wszystkim ze względu na wymagania związane z racjonalizacją zużycia energii oraz rosnące oczekiwania maksymalizacji jej pozyskiwania i wykorzystania z tzw. źródeł odnawialnych. Uzyskane przez niego wyniki badań analitycznych, potwierdzone eksperymentem mają, w moim przekonaniu, dużą wartość merytoryczną. Jestem również przekonany, że dr inż. Jacek Biskupski jest w pełni przygotowany do samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej.

Na tej podstawie stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej dr. inż. Jacka Biskupskiego, zatytułowanej *Techniczne, ekonomiczne i środowiskowe aspekty wprowadzania przydomowych odnawialnych źródeł energii w budynkach w Polsce* i dopuszczenie jej do publicznej obrony.