

Prof. dr hab. inż. Lech Lichołai

Rzeszów, 29-III-2022 roku

Politechnika Rzeszowska

Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

Katedra Budownictwa Ogólnego

al. Powstańców Warszawy 12

35-959 Rzeszów

## **RECENZJA**

### **Rozprawy doktorskiej**

Pana mgr inż. Bartosza Chwieduka

pt „Analiza sezonowej efektywności energetycznej wieloźródłowych  
niekonwencjonalnych systemów energetycznych mikro skali”

wykonana pod opieką naukową:

Pani Promotor dr hab. inż. Hanny Jędrzejuk

### **1. Podstawa opracowania recenzji**

Podstawą opracowania recenzji jest pismo nr RND-IŚGiE/7/2022 z dnia 19 stycznia 2022 roku Pana Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego, nawiązujące do Uchwały nr 3/II/2022 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej z dnia 11 stycznia 2022 roku, zwracające się z prośbą o ocenę rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartosza Chwieduka pt. „Analiza sezonowej efektywności energetycznej wieloźródłowych niekonwencjonalnych systemów energetycznych mikro skali”.

## **2. Informacja dotycząca tytułu rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się w aktualnym postępowaniu o nadanie stopnia doktora**

Tytuł recenzowanej rozprawy doktorskiej „Analiza sezonowej efektywności energetycznej wieloźródłowych niekonwencjonalnych systemów energetycznych mikro skali” został właściwie sformułowany i odpowiada w pełni treści merytorycznej przedmiotowej pracy. Tytuł w sposób jednoznaczny odnosi się do zawartości pracy. W tytule została przedstawiona naukowa problematyka podjętych w rozprawie rozważań, a treść tytułu zawiera odniesienia do współczesnych prac badawczych prowadzonych w obszarze energetycznych systemów rozważanych w kontekście rozwiązań wieloźródłowych niekonwencjonalnych.

## **3. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych**

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska, której Autorem jest Pan mgr inż. Bartosz Chwieduk pt. „Analiza sezonowej efektywności energetycznej wieloźródłowych niekonwencjonalnych systemów energetycznych mikro skali”, wykonana pod opieką promotorską Pani dr hab. inż. Hanny Jędrzejuk.

Rozprawa doktorska liczy 251 stron i składa się z ośmiu ponumerowanych rozdziałów (1. Wprowadzenie, 2. Cel i zakres pracy, 3. Rozwiązania instalacyjne rozważane w pracy, 4. Modele matematyczne wykorzystane do odwzorowania pracy instalacji energetycznych oraz sporządzenia bilansu cieplnego budynku jednorodzinny, 5. Hipotetyczny budynek jednorodzinny, 6. Wartości zaproponowanych współczynników sezonowej efektywności energetycznej oraz współczynnika efektywności wykorzystania energii odnawialnej rozważanych wariantów instalacyjnych, 7. Analiza porównawcza, 8. Wnioski) oraz czterech nieponumerowanych (Streszczenie, Abstract, Ważniejsze symbole, Bibliografia). W większości rozdziałów występują podrozdziały. Ponadto w pracy znajduje się sześć załączników (Załącznik A: Dane techniczne urządzeń, Załącznik B: Bilans cieplny hipotetycznego budynku, Załącznik C: Zapotrzebowanie na energię, Załącznik D: Funkcjonowanie instalacji

z kolektorami słonecznymi, Załącznik E: Funkcjonowanie systemu z turbinami wiatrowymi, Załącznik F: Bilans cieplny budynku).

W początkowej części wykonanej dysertacji zamieszczone są streszczenia pracy w języku polskim oraz w języku angielskim, a także wykaz zastosowanych w pracy ważniejszych symboli. W rozdziale wprowadzającym przedstawione są informacje dotyczące wieloźródłowych, niekonwencjonalnych systemów energetycznych oraz mikroinstalacji wykorzystujących odnawialne źródła energii. W tym rozdziale Doktorant sformułował trzy tezy rozprawy. Pierwsza teza odnosi się do zagadnienia występujących problemów z opisaniem współpracy wieloźródłowych niekonwencjonalnych systemów energetycznych przy zastosowaniu standardowych współczynników wydajności i efektywności energetycznej. Druga teza dotyczy możliwości zwiększenia efektywności działania niekonwencjonalnych urządzeń produkujących ciepło i energię elektryczną na potrzeby ciepłej wody użytkowej i centralnego ogrzewania. Trzecia teza związana jest z funkcjonowaniem systemów wykorzystujących odnawialne źródła energii, które nie są podłączone do sieci elektroenergetycznej. W dalszej części tego rozdziału zamieszczone są ważne informacje dotyczące współczynników opisujących pracę niekonwencjonalnych systemów energetycznych w małej skali.

W drugim rozdziale Doktorant przedstawił cel i zakres przedmiotowej pracy doktorskiej. Te zagadnienia zostały zaprezentowane w sposób precyzyjny, jasny wraz z odniesieniami do współczesnego stanu wiedzy w tematyce dotyczącej energetycznego funkcjonowania systemów instalacyjnych w budownictwie.

W trzecim rozdziale przedstawione są niekonwencjonalne systemy wytwarzania energii elektrycznej, ciepła i chłodu, które mogą być stosowane w budownictwie jedno i wielorodzinnym. Opisane zostały: gruntowa pompa ciepła, instalacje z płaskimi kolektorami słonecznymi, instalacje pompy ciepła i kolektorów słonecznych współpracujące w celu pokrycia zapotrzebowania na centralne ogrzewanie i ciepłą wodę użytkową, mikroinstalacje fotowoltaiczne, instalacje z modułami fotowoltaiczno-cieplnymi, małe turbiny wiatrowe, elektrownie dwuźródłowe, sprężarkowe urządzenia chłodnicze zasilane energią produkowaną przez instalację fotowoltaiczną. Na podkreślenie zasługuje zamieszczenie obok opisów tekstowych rysunków ilustrujących poszczególne rozważane niekonwencjonalne systemy energetyczne. W tym rozdziale

przedstawione są też warianty instalacyjne, które Doktorant rozważał w trakcie realizacji pracy. Warianty różnią się stopniem skomplikowania oraz liczbą zastosowanych, niekonwencjonalnych rozwiązań energetycznych. Dwa pierwsze warianty (A1-A2) dotyczą urządzeń wytwarzających ciepło. Kolejne cztery warianty (B1-B4) dotyczą funkcjonowania niekonwencjonalnych instalacji produkujących ciepło, a także systemów wytwarzających energię elektryczną. W tych przypadkach Doktorant założył, że instalacje produkujące energię elektryczną są podłączone do sieci elektroenergetycznej. Ponadto zaproponowano taką wydajność systemów, aby w analizowanym, przykładowym budynku roczne zyski energetyczne były zgodne z zapotrzebowaniem na energię elektryczną. Następne dwa rozpatrywane warianty (C1-C2) dotyczą funkcjonowania energetycznego budynku autonomicznego nie podłączonego do sieci elektroenergetycznej. Pomieszczenia w analizowanym budynku są ogrzewane poprzez zastosowanie pompy ciepła wspomaganej przez instalację z kolektorami słonecznymi. Moc instalacji oraz pojemność akumulatorów tak została zwymiarowana, aby w budynku nie dochodziło do przerw w dostępie do energii elektrycznej. Ostatnie dwa warianty (D1-D2) rozpatrywane w pracy warianty dotyczą funkcjonowania instalacji klimatyzacyjnych. Analizy wariantowe funkcjonowania energetycznego różnych rozwiązań instalacyjnych stosowanych w budownictwie, które zostały wykonane przez Doktoranta są właściwe i przynoszą naukowe wartości poznawcze.

W rozdziale czwartym przedstawione są modele matematyczne, które posłużyły Doktorantowi do opisu funkcjonowania instalacji energetycznych oraz wykonania bilansu cieplnego domu jednorodzinnego. Modele matematyczne pozwalają na wyznaczenie zysków energetycznych z rozpatrywanych rozwiązań instalacyjnych. W początkowej części tego rozdziału opisany został model dostępności promieniowania słonecznego. To zagadnienie jest szczególnie ważne w kontekście określania zysków energetycznych i zapotrzebowania na energię różnych, energetycznych rozwiązań instalacyjnych. Umożliwia wyznaczenie gęstości strumienia promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni kolektorów słonecznych oraz paneli fotowoltaicznych. Doktorant określa zależność, która umożliwia wyznaczenie całkowitej gęstości promieniowania słonecznego padającego na dowolnie zorientowaną powierzchnię. W dalszej części

przedstawiony jest model funkcjonowania instalacji fotowoltaicznej i fotowoltaiczno-ciepłej uwzględniający wpływ temperatury otoczenia na temperaturę modułu oraz ilość generowanej energii elektrycznej. Kolejno przedstawione są modele: funkcjonowania małej elektrowni wiatrowej oraz funkcjonowania słonecznej instalacji grzewczej. Istotną składową tego rozdziału są przeprowadzone rozważania dotyczące zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku jednorodzinny. Sporządzenie bilansu cieplnego analizowanego budynku i określenie zapotrzebowania na ciepło do jego ogrzewania pozwala na dobór elementów instalacji grzewczej oraz systemu produkującego energię elektryczną.

W rozdziale piątym Doktorant przedstawia hipotetyczny budynek jednorodzinny, który posłużył do wykonania obliczeń i przeprowadzenia analiz symulacyjnych. Przyjęto, że budynek zamieszkały jest przez cztery osoby i zlokalizowany jest w okolicach Warszawy. Budynek w rzucie posiada kształt prostokątny o wymiarach 12,5 x 8,0 m. Główna fasada skierowana jest w stronę południową. Budynek posiada dwie ogrzewane kondygnacje, sumaryczna powierzchnia użytkowa wynosi około 180 m<sup>2</sup>. W rozdziale tym Doktorant przedstawia rozważania dotyczące zapotrzebowania na energię elektryczną potrzebną do funkcjonowania urządzeń domowych działających w oparciu o energię elektryczną oraz do oświetlenia. Zwrócona jest uwaga na różne rozkłady godzinowe zapotrzebowania na energię elektryczną. W dalszej części zawarte są rozważania dotyczące zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową przy założeniu zużycia przez każdego mieszkańca 50 litrów ciepłej wody użytkowej w ciągu doby. Doktorant dopasował rozkłady zużycia ciepłej wody użytkowej do profili zużycia energii elektrycznej. Przyjęte zostało założenie, że aktywność mieszkańców przejawia się zwiększonym zapotrzebowaniem na energię elektryczną i ciepłą wodę użytkową. Rozkłady zużycia ciepłej wody użytkowej zostały dostosowane do profili zapotrzebowania na energię elektryczną. Ważną, dalszą częścią tego rozdziału są rozważania dotyczące zapotrzebowania na ciepło użyteczne do ogrzewania i podgrzewania powietrza wentylacyjnego. Na potrzeby tych rozważań istotnym zagadnieniem jest sformułowanie i rozwiązanie bilansu cieplnego rozpatrywanego budynku. Doktorant wykonał niezbędne obliczenia w tym zakresie, między innymi współczynniki przenikania ciepła dla obudowy rozpatrywanego domu mieszkalnego.

W rozdziale szóstym Doktorant przedstawił rozważania dotyczące zaproponowanych współczynników sezonowej efektywności energetycznej oraz współczynnika efektywności wykorzystania energii odnawialnej analizowanych w rozprawie wariantów instalacyjnych. Zostały przyjęte do analizy obliczeniowej różne warianty rozwiązań instalacyjnych wykorzystujących niekonwencjonalne źródła energii, które zostały dostosowane do zapotrzebowań na ciepło do ogrzewania, ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz na energię elektryczną. Na podstawie tych zapotrzebowań Doktorant wymiarował urządzenia wytwarzające ciepło oraz energię elektryczną. Rozdział ten, będący bardzo obszerną składową przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawiera szczegółowe, merytoryczne analizy funkcjonowania przyjętych rozwiązań instalacyjnych, zgodnie z opisanymi autorskimi wariantowymi konfiguracjami instalacyjnymi. Doktorant wykonał obliczenia dla dziesięciu wariantów instalacyjnych, posiadających różne stopnie złożoności, wkomponowywanych na potrzeby analizy do hipotetycznego mieszkalnego budynku jednorodzinnego. W wariantach od A1 do B4 wyznaczony został zintegrowany współczynnik sezonowej efektywności energetycznej. W tych wariantach urządzenia wytwarzające ciepło pobierają energię z sieci elektroenergetycznej. Analizowane warianty C1-C2 odnoszą się do systemów autonomicznych, w których budynek nie jest podłączony do sieci elektroenergetycznej. Energia potrzebna do zasilania wszystkich urządzeń w budynku jest wytwarzana przez mikroinstalacje wykorzystujące odnawialne źródła energii. Produkowana energia jest wykorzystywana do bieżącego funkcjonowania budynku lub jest magazynowana w akumulatorach. Dla tych wariantów wyznaczono współczynnik efektywności wykorzystania energii odnawialnej. Dla wariantów D1-D2, których funkcjonowanie związane jest z urządzeniami chłodniczymi i klimatyzacyjnymi, Doktorant wyznaczył współczynnik sezonowej efektywności energetycznej chłodzenia.

Rozdział siódmy zawiera analizy porównawcze dotyczące funkcjonowania budynku wyposażonego w niekonwencjonalne systemy wytwarzania ciepła oraz energii elektrycznej. Dla budynku hipotetycznego Doktorant zaproponował i wyznaczył zintegrowany współczynnik sezonowej efektywności energetycznej. Współczynnik ten został także obliczony dla istniejącego budynku wyposażonego w niekonwencjonalne systemy energetyczne. W rozdziale tym zamieszczone zostały wyniki z analiz porównawczych. Uzyskane wartości

wynikowe z budynku hipotetycznego i budynku istniejącego w niektórych przypadkach różnią się od siebie. W rozprawie Doktorant podaje, że budynki (hipotetyczny i istniejący) różnią się zdecydowanie od siebie pod względem architektonicznym, a także wielkość powierzchni ogrzewanej istniejącego budynku jest dwa razy większa od budynku hipotetycznego.

Praca kończy się rozdziałem ósmym zawierającym wnioski. Przede wszystkim Doktorant przedstawia trzy zaproponowane przez siebie współczynniki: zintegrowany współczynnik sezonowej efektywności energetycznej ( $SPF_1$ ), współczynnik efektywności wykorzystania energii odnawialne (REF) oraz współczynnik sezonowej efektywności energetycznej chłodzenia ( $SPF_c$ ). Zamieszczone zostały szczegółowe informacje dotyczące tych współczynników, wynikające z przeprowadzonych w niniejszej rozprawie rozważań naukowych. Ponadto Doktorant zwraca uwagę, że wpływ na efektywność energetyczną niekonwencjonalnych rozwiązań może mieć uwzględnienie mechanizmów wsparcia mikroinstalacji, które wykorzystują odnawialne źródła energii.

W dalszej kolejności w pracy zawarty jest rozdział bibliograficzny liczący 127 pozycji literaturowych, a także załączniki A-F.

Układ rozprawy doktorskiej wykonanej przez Pana mgr inż. Bartosza Chwieduka jest właściwy pod względem merytorycznym i formalnym. Rozważania naukowe prowadzone przez Doktoranta są poprawne i ściśle związane z tematyką pracy, jej celem i zakresem. Układ zrealizowanej pracy doktorskiej jest jasny i czytelny w kontekście prowadzenia merytorycznych analiz naukowych

#### **4. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej**

Pan mgr inż. Bartosz Chwieduk zestawił i wykorzystał wymagany i potrzebny zestaw pozycji bibliograficznych. Łącznie w rozdziale Bibliografia zostały umieszczone 127 pozycji literaturowych, z których korzystał Doktorant w trakcie realizacji przedmiotowej dysertacji. Zamieszczone pozycje piśmiennictwa są odpowiednie pod względem naukowym do omawiania i rozważania poszczególnych zagadnień w ramach zrealizowanej pracy doktorskiej.

Wykorzystane pozycje literaturowe odnoszą się do wielu aspektów energetycznego funkcjonowania różnych urządzeń i instalacji funkcjonujących w oparciu o odnawialne źródła energii. Ważną częścią zestawu literaturowego są zamieszczone pozycje netograficzne. Zastosowany na potrzeby zrealizowania przedmiotowej dysertacji doktorskiej wykaz piśmiennictwa jest właściwy pod względem wartości naukowej

## **5. Wskazanie oraz ocena celu pracy Kandydata do stopnia doktora**

Istotną wartością naukową mającą swoje odniesienie w założonym celu zrealizowanej rozprawy doktorskiej jest rozważana tematyka współpracy różnych urządzeń, a także systemów wytwarzających oraz pobierających energię elektryczną i energię cieplną. Zwrócona została uwaga na występującą często niezależność funkcjonowania niekonwencjonalnych systemów energetycznych w budownictwie jedno i wielorodzinnym. Różne, zamontowane instalacje funkcjonują i przynoszą efekty energetyczne niezależnie od siebie. Doktorant słusznie stwierdza, że część zapotrzebowania na energię elektryczną potrzebną do zasilania konwencjonalnych podgrzewaczy, pomp obiegowych, pomp ciepła może zostać uzupełniona przez inny system wytwarzający energię elektryczną, w tym w oparciu o odnawialne źródła energii. We współczesnym, energoefektywnym budownictwie może być stosowany więcej niż jeden system wytwarzający energię elektryczną, a także cieplną funkcjonujące w oparciu o odnawialne źródła energii. Opisanie funkcjonowania energetycznego wieloźródłowych systemów wytwarzania ciepła odbywa często się przy pomocy jednego współczynnika. Celem niniejszej pracy doktorskiej jest opracowanie trzech współczynników umożliwiających ocenę efektywności funkcjonowania niekonwencjonalnych instalacji wytwarzania ciepła, chłodu oraz energii elektrycznej na potrzeby użytkowania budynków jedno i wielorodzinnych.

Pierwszy współczynnik dotyczy współpracy urządzeń wytwarzających ciepło do ogrzewania budynku oraz do przygotowania ciepłej wody użytkowej z urządzeniami produkującymi energię elektryczną. Współczynnik ten może zostać zastosowany do określania efektywności energetycznej planowanych inwestycji na podstawie danych technicznych przewidywanych w inwestycji urządzeń i występujących w danej lokalizacji warunków meteorologicznych.



Może być też stosowany do określania efektywności energetycznej funkcjonującej instalacji.

Drugi współczynnik umożliwia określenie efektywności energetycznej urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych przy wykorzystaniu zależności rocznego zapotrzebowania budynku na chłód do ilości energii pobranej z sieci elektroenergetycznej przez urządzenia chłodnicze lub klimatyzacyjne.

Trzeci współczynnik odnosi się do budynków autonomicznych nie mających połączenia z siecią elektroenergetyczną. W takich budynkach występują akumulatory gromadzące energię elektryczną, która wytwarzana jest przez zastosowane odpowiednie instalacje. W polskich, letnich warunkach klimatycznych ilość energii wyprodukowanej w systemach autonomicznych fotowoltaicznych lub w turbinach wiatrowych przewyższa znacznie zapotrzebowanie na energię w konkretnym budynku. W przypadku braku możliwości wykorzystania wyprodukowanej energii lub jej zmagazynowania wymagane jest odłączenie systemu produkującego energię. Zaproponowany współczynnik odnosi się do zależności energii elektrycznej pobranej przez wszystkie urządzenia w rozpatrywanym budynku do energii, która potencjalnie może być wyprodukowana przez mikroinstalację, gdyby była możliwość jej całościowego zmagazynowania lub wykorzystania. Współczynnik ten określa stopień wykorzystania instalacji wytwarzającej energię.

W wykonanej dysertacji Doktorant wykonał analizę funkcjonowania niekonwencjonalnych systemów wytwarzających ciepło, chłód i energię elektryczną w skali mikro oraz zbadał wpływ tych systemów na zaproponowane współczynniki. Ocena celu pracy Kandydata do stopnia doktora jest pozytywna.

## **6. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych**

Doktorant zgodnie z przedstawionymi w pracy założeniami naukowymi przyjął i zastosował właściwe metody badawcze. Przedstawione zostały instalacyjne rozwiązania techniczne wykorzystujące źródła energii odnawialnych mogące znaleźć zastosowanie w budownictwie w celu poprawy bilansu energetycznego budynków. Ważną częścią zastosowanych w pracy metod badawczych są zamieszczone rozważania naukowe dotyczące modelowania matematycznego funkcjonowania instalacji wykorzystujących

źródła energii odnawialnych. Zamieszczono także ważny model dostępności promieniowania słonecznego związany w istotny sposób z efektywnością energetyczną zastosowanych w budynku helioenergetycznych instalacji. Doktorant zastosował właściwe metody obliczeniowe do wyznaczenia wartości współczynników sezonowej efektywności energetycznej oraz współczynnika efektywności wykorzystania energii odnawialnej różnych wariantów instalacyjnych. Do wykonanej analizy porównawczej Doktorant zastosował odpowiednie metody obliczeniowe. Przyjęte przez Doktoranta metody badawcze służące do prowadzenia rozważań naukowych należy uznać za poprawne i odpowiednie do przyjętych założeń badawczych.

#### **7. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań**

Uzyskane przez Doktoranta wyniki z przeprowadzonych rozważań naukowych zostały przedstawione w postaci wykresów wraz ze szczegółowymi komentarzami naukowymi. Ponadto istotne zestawienia wynikowe zostały także zawarte w załącznikach. Należy pozytywnie ocenić część pracy dotyczącej omówienia uzyskanych wyników. Doktorant odnosi się w sposób merytoryczny do uzyskanych wyników, zwracając uwagę na ich wartość naukową.

#### **8. Informacja dotycząca praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań**

Doktorant przedstawił w dysertacji rozważania naukowe, które posiadają wartości do praktycznego zastosowania. Obszar badawczy związany z wykonaną pracą doktorską dotyczy szeroko rozumianych zagadnień energoefektywnego funkcjonowania budynków. Zastosowanie w budynkach różnych rozwiązań instalacyjnych wykorzystujących źródła energii odnawialnych jest właściwym kierunkiem poprawy bilansu energetycznego konkretnego budynku. Doktorant przeprowadził rozważania naukowe w ramach wykonanej dysertacji w obszarze badawczym ściśle związanym z helioenergetycznymi systemami instalacyjnymi znajdującymi zastosowanie

w budynkach o różnym przeznaczeniu. Praktyczne zastosowanie uzyskanych przez Doktoranta wyników badań może przynieść poprawę energetycznego funkcjonowania budynków.

### **9. Informacje o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej**

Po zapoznaniu się z całością wykonanej przez Pana mgr inż. Bartosza Chwieduka przedmiotowej rozprawy doktorskiej nasuwają się pewne uwagi o charakterze krytyczno-dyskusyjnym:

- tezy pracy są słuszne pod względem merytorycznym lecz powinny być zredagowane raczej w formie przypuszczającej,
- warto, aby w sposób szerszy Doktorant uzasadnił wybór tematu pracy,
- wydaje się, że rozdział „Wnioski”, dla zwiększenia jego wartości powinien zawierać bardziej rozszerzoną dyskusję uzyskanych wyników, w tym w odniesieniu do literatury przedmiotu,
- w części końcowej pracy powinny znaleźć się bardziej precyzyjne wskazania co do przyszłych prac badawczych w tematyce wykonanej pracy doktorskiej,
- jak Doktorant widziałby szersze badania doświadczalne umożliwiające weryfikację uzyskanych wyników ? (oprócz tych opisanych w pracy),
- schematy graficzne - rysunki budynku hipotetycznego warto było zamieścić,
- wykonanie analizy statystycznej uzyskanych wyników byłoby interesujące,
- uwaga na przyszłość: może warto rozważyć zredagowanie oddzielnych publikacji zawierających wskazówki i procedury dla projektantów ?

Wykonana praca doktorska jest starannie zredagowana pod względem edytorskim, jakkolwiek można zauważyć pewne drobne usterki:

- praca nie zawiera zbiorczego zestawienia zamieszczonych w tekście ilustracji,
- w tekście pracy są podrozdziały, których nie ma w spisie treści (np. 6.1.1. str. 78, 6.1.2. str. 80 ...),
- str. 26 - powinno być: „... Współczynniki opisane ...” (zamiast: „... Współczynnik opisane...”) - 9 wiersz od dołu,
- str. 204 – zbędny jest wyraz ...”rodzinnych ...”. w 9 wierszu od góry.

## **10. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**

Wykonana przez Pana mgr inż. Bartosza Chwieduka rozprawa doktorska wpisuje się we współczesne zagadnienia prowadzenia prac naukowych w obszarach funkcjonowania instalacyjnych rozwiązań energetycznych wykorzystujących odnawialne źródła energii i mających zastosowanie w budownictwie.

Do oryginalnych rozwiązań problemu naukowego należy zaliczyć:

- opracowanie trzech współczynników umożliwiających ocenę efektywności funkcjonowania niekonwencjonalnych instalacji wytwarzania ciepła, chłodu oraz energii elektrycznej na potrzeby użytkowania budynków,
- przedstawienie zagadnień modelowania matematycznego funkcjonowania różnych instalacji wykorzystujących odnawialne źródła energii, które występują w budynku, oraz modelowania dostępności promieniowania słonecznego w kontekście helioenergetycznego funkcjonowania budynków,
- przedstawienie koncepcji zastosowania rozszerzonej procedury obliczeniowej dotyczącej energetycznego funkcjonowania rozwiązań helioenergetycznych instalacji w budynkach,
- wykonanie wariantowych obliczeń funkcjonowania energetycznego hipotetycznego budynku, wyposażonego w rozwiązania instalacyjne wykorzystujące źródła energii odnawialnych,
- dostarczenie oryginalnej, naukowej wiedzy w tematyce zrealizowanej pracy doktorskiej, stwarzającej możliwości prowadzenia dalszych prac badawczych.

Oryginalność rozwiązania problemu naukowego została wykazana przez Doktoranta w trakcie realizacji niniejszej dysertacji, co znajduje potwierdzenie w tekście wykonanej pracy doktorskiej.

## **11. Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata do stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**

Po szczegółowym zapoznaniu się z merytoryczną zawartością recenzowanej dysertacji doktorskiej, stwierdzam, że wykonana rozprawa

doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Pana mgr inż. Bartosza Chwieduka do stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W pracy Doktorant zajął się teoretycznymi rozważaniami naukowymi dotyczącymi modelowania matematycznego funkcjonowania różnych instalacji występujących w budynku, które wykorzystują źródła energii odnawialnych. Ponadto teoretycznie rozważał model dostępności promieniowania słonecznego w kontekście helioenergetycznego funkcjonowania budynków. Pan mgr inż. Bartosz Chwieduk wykazał w toku realizacji przedmiotowej doktorskiej umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

## **12. Podsumowanie**

Pan mgr inż. Bartosz Chwieduk w zrealizowanej rozprawie doktorskiej pt „Analiza sezonowej efektywności energetycznej wieloźródłowych niekonwencjonalnych systemów energetycznych mikro skali”, wykonanej pod opieką naukową Pani Promotor dr hab. inż. Hanny Jędrzejuk zajął się ważnym zagadnieniem dotyczącym energetycznego funkcjonowania budynków wyposażonych w różne rozwiązania instalacyjne wykorzystujące źródła energii odnawialnych. Kandydat opracował trzy współczynniki umożliwiające ocenę efektywności funkcjonowania niekonwencjonalnych instalacji wytwarzania ciepła, chłodu oraz energii elektrycznej na potrzeby eksploatacji budynków. Wykonane prace badawcze i otrzymane wyniki pozwalają na stwierdzenie o zasadności przedstawionego podejścia naukowego. Przyjęte tezy badawcze zostały w toku realizacji przedmiotowej dysertacji doktorskiej pozytywnie udowodnione. Zrealizowana przez Pana mgr inż. Bartosza Chwieduka praca doktorska wnosi nowe wartości naukowe w obszarze energooszczędnego funkcjonowania budynków wyposażonych w rozwiązania instalacyjne wykorzystujące odnawialne źródła energii.

Wykonana praca doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego i posiada duże wartości w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej. Wykonana rozprawa doktorska prezentuje wysoki poziom wiedzy teoretycznej Kandydata w dyscyplinie naukowej Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zamieszczone w recenzji dyskusyjne uwagi krytyczne nie pomniejszają merytorycznej zawartości wykonanej dysertacji doktorskiej.

Niniejsza recenzja została opracowana mając na uwadze starą i nową klasyfikację dyscyplin naukowych.

### **13. Wniosek końcowy**

Przedstawiona do recenzji przedmiotowa rozprawa doktorska pt: Analiza sezonowej efektywności energetycznej wieloźródłowych niekonwencjonalnych systemów energetycznych mikro skali”, wykonana przez Pana mgr inż. Bartosza Chwieduka, której Promotorem jest Pani dr hab. inż. Hanna Jędrzejuk spełnia wymagania określone w art. 186 ust. 1 pkt 5 oraz w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 roku poz. 478 ze zm.) oraz spełnia wymagania określone w art. 13 ust.1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789, z późn. zm.).

W związku z powyższym przedstawiam pozytywną konkluzję i uprzejmie wnoszę o przyjęcie przedmiotowej rozprawy doktorskiej oraz wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Pana mgr inż. Bartosza Chwieduka do kolejnych etapów przewodu doktorskiego - Ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 roku poz. 478 ze zm.) art. 191.1.

Równocześnie zgłaszam wniosek o wyróżnienie przedmiotowej rozprawy doktorskiej. Uzasadnieniem wniosku jest podjęcie przez Doktoranta trudnych i zaawansowanych rozważań naukowych, a równocześnie bardzo aktualnych oraz potrzebnych w kontekście ich praktycznego zastosowania. Naukowe aspekty i zagadnienie w przedmiotowej rozprawie zostały przedstawione na wysokim poziomie merytorycznym. Na szczególne podkreślenie zasługuje zaproponowanie trzech nowych współczynników; zintegrowany współczynnik sezonowej efektywności energetycznej, współczynnik wykorzystania energii odnawialnej, współczynnik sezonowej efektywności energetycznej chłodzenia. Te współczynniki stwarzają możliwość przeprowadzenia oceny efektywności funkcjonowania niekonwencjonalnych instalacji umożliwiających wytwarzanie

energii elektrycznej, ciepła oraz chłodu w budynkach jedno i wielorodzinnych. Zakres pracy jest obszerny ale adekwatny do przyjętych założeń, obszar badawczy posiada dużą wartość naukową, cel pracy jest ważny i ambitny, wielowariantowość przeprowadzonych, złożonych rozważań naukowych zasługuje na uznanie. Wykonana rozprawa doktorska jest bardzo dobrym opracowaniem naukowym wnoszącym nowe wartości poznawcze dotyczące efektywności energetycznej rozważanych w pracy niekonwencjonalnych systemów energetycznych.



