

Prof. dr hab. inż. Robert Sekret
Politechnika Częstochowska
Wydział Infrastruktury i Środowiska
Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych
42 – 201 Częstochowa, ul. J.H. Dąbrowskiego 69
E-mail: robert.sekret@pcz.pl

Częstochowa, dn. 21.10.2024 r.

Szanowny Pan
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Nadolny
Dziekan
Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechniki Poznańskiej
ul. Piotrowo 5, 60-965 Poznań

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Katarzyny Pałaszynskiej
pt. „Sterowanie energooptymalne systemami ogrzewania i chłodzenia
ze stropami aktywowanymi termicznie współpracującymi z wentylacją
w budynku edukacyjnym”

1. Wprowadzenie

Recenzja niniejsza została napisana w odpowiedzi na pismo
Nr WISIE.63.2024.50 z dnia 20 września 2024 roku.

2. Zakres rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Pałaszynskiej pt. „Sterowanie energooptymalne systemami ogrzewania i chłodzenia ze stropami aktywowanymi termicznie współpracującymi z wentylacją w budynkach edukacyjnych” zawiera łącznie 177 stron. Rozprawa została podzielona na 6 głównych rozdziałów i uzupełniona: bibliografią, dwoma załącznikami oraz spisem ważniejszych oznaczeń, streszczeniem w języku polskim i angielskim.

We wprowadzeniu do rozprawy doktorskiej (rozdział 1 pracy) Doktorantka przedstawiła genezę podjętej problematyki badawczej. Wskazała kierunki rozwoju systemów zapewnienia komfortu cieplnego w budynkach, zawarła uzasadnienie

wyboru budynków edukacyjnych jako tych które charakteryzują się dynamicznymi zmianami obciążeń cieplnych, rolę i wagę wentylacji oraz jej wpływ na samopoczucie i efektywność uczniów. Doktorantka odniosła się również do obserwowanego wzrostu liczby dni z wysokimi temperaturami zewnętrznymi oraz wydłużenia serii gorących dni z temperaturą powietrza zewnętrznego przekraczającą 30°C.

Rozdział 2 rozprawy to analiza obecnego stanu badań nad systemami HVAC ze stropami aktywowanymi termicznie. Doktorantka przedstawiła w tej części pracy zagadnienia: wykorzystania masy budynku do celów grzania i chłodzenia, opisała technologię TABS (Thermally Activated Building Systems) wykorzystującą strukturę budynku do magazynowania ciepła i chłodu, struktury tych układów oraz algorytmy ich sterowania.

W rozdziale 3 Doktorantka jako problem badawczy wskazała zagadnienie współpracy TABS i wentylacji do odprowadzania obciążeń termicznych w systemach HVAC dedykowanych dla dużych i dynamicznie zmieniających się obciążeń chłodniczych, zwłaszcza budynków edukacyjnych. Rozdział ten opisuje przyjęte cele naukowe i użytkowe, przedstawia szczegółowy zakres pracy oraz dwie tezy badawcze.

Rozdział 4 rozprawy Doktorantka poświęciła zagadnieniom energoosybilnego sterowania systemem TABS i wentylacji budynków edukacyjnych. Rozdział ten zawiera w szczególności: opis struktury zagadnienia badawczego (algorytm ogólny), wskazanie i charakterystykę funkcji celu, przyjętą metodę rozwiązania problemu, tj. szeroki opis metody UBB dla pomieszczeń z TABS, zbiór zmiennych decyzyjnych, opis wariantów sterowania i hipotezy badawcze, oraz bilans obciążeń termicznych na potrzeby instalacji HVAC z TABS.

Rozdział 5 rozprawy to aplikacja zaproponowanej przez Doktorantkę metody rozwiązania zagadnienia współpracy systemu HVAC z TABS i wentylacji w budynku edukacyjnym. Doktorantka zawarła w nim ogólną charakterystykę przedmiotu analizy i wykorzystanych w tym celu narzędzi naukowych. Opisała szczegółowo: model geometryczny wybranego pomieszczenia wraz z jego weryfikacją, odniosła się do parametrów komfortu cieplnego i jakości powietrza, scharakteryzowała harmonogram użytkowania pomieszczenia oraz przyjęte warianty obciążeń chłodniczych. Dalszą część rozdziału 5 Doktorantka poświęciła modelowi symulującemu działanie systemu HVAC z TABS i systemu wentylacji, z jego opisem założeń i danych wejściowych, wariantami współpracy systemu TABS i wentylacji. Następnie Doktorantka zawarła metodę wyznaczania krzywych grzania i chłodzenia, zbiór zmiennych decyzyjnych dla wyznaczenia równania krzywych grzania i chłodzenia. W końcowej części rozdziału 5 Doktorantka przedstawiła wyniki symulacji w zakresie sterowania energoosybilnego.

Rozdział 6 rozprawy to podsumowanie obejmujące syntezę uzyskanych wyników i wniosków szczegółowych, wskazanie implikacji inżynierskich oraz kierunki dalszych prac.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Tytuł pracy jest adekwatny do jej zawartości. Struktura rozprawy doktorskiej jest bardzo czytelna. Kolejność poszczególnych rozdziałów pracy jest logiczna. Rozdziały przedstawiają podjętą problematykę badawczą z właściwymi proporcjami w zakresie ich zawartości i stopnia szczegółowości. Dobór tytułów kolejnych rozdziałów i podrozdziałów nie budzi zastrzeżeń. Praca została bardzo starannie przygotowana pod względem edytorskim. Treść rozprawy uzupełnia bogaty materiał w postaci tabel i rysunków. Uważam, że Doktorantka nabyła umiejętności poprawnej organizacji rozprawy doktorskiej.

Doktorantka przeprowadziła analizę obecnego stanu wiedzy w zakresie badań nad systemami HVAC ze stropami aktywowanymi termicznie w oparciu o 80 pozycji bibliograficznych, z czego zdecydowana większość to publikacje z ostatnich 10 lat. Wykorzystane źródła literaturowe odnoszą się do tematu pracy. We wprowadzeniu oraz rozdziale 1 rozprawy doktorskiej Doktorantka wskazała argumenty za koniecznością podjęcia się badań w zakresie sterowania energooszczędnymi systemami ogrzewania i chłodzenia ze stropami aktywowanymi termicznie współpracującymi z wentylacją w budynkach edukacyjnych. Uważam, że zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak również aplikacyjnego przedstawiony przegląd obecnego stanu wiedzy w ocenianej rozprawie doktorskiej w pełni uzasadnia wybór tematu i problemu naukowego.

Energooszczędne sterowanie systemami HVAC jest kluczowe dla osiągnięcia wysokiej efektywności energetycznej budynków. Ma to istotne znaczenie nie tylko z punktu widzenia aspektów ekonomicznych, czy z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska, ale kluczowe dla uzyskania wysokiego poziomu komfortu cieplnego w budynku na potrzeby indywidualnych stanów dla różnych stref budynku przy dynamicznie zmieniających się obciążeniach cieplnych. Dlatego też, wskazany przez Doktorantkę cel naukowy jako opracowanie metody wyznaczania algorytmów sterowania systemem HVAC z TABS opartych na krzywych grzania i chłodzenia oraz wykorzystaniu powietrza wentylacyjnego do odprowadzenia części obciążeń termicznych dla pomieszczeń o dynamicznie zmieniających się w czasie wewnętrznych obciążeniach chłodniczych, przy zapewnieniu oczekiwanych parametrów komfortu cieplnego oraz wykorzystując jedynie konieczne nakłady energetyczne, jest trafny i w pełni uzasadniony z poznawczego punktu widzenia. Przyjęty cel użytkowy, tj. opracowanie algorytmu energooszczędnego sterowania systemem HVAC z TABS (krzywych grzania i chłodzenia), w tym systemem wentylacyjnym (DCV, VAV), w budynkach o dużych i dynamicznie zmieniających się wewnętrznych obciążeniach chłodniczych na przykładzie pomieszczenia w budynku edukacyjnym, również stanowi o dużej wadze podjętego problemu badawczego. Przedstawione tezy pracy są sformułowane poprawnie a zaproponowany zakres badań nie budzi zastrzeżeń. Uważam, że Doktorantka uzyskała umiejętność poprawnego formułowania tez, celów i zakresu rozprawy doktorskiej.

Doktorantka precyzyjnie przedstawiła strukturę zagadnienia energooszczędnej sterowania systemem HVAC z TABS. Zaproponowana metoda rozwiązania jest interesująca. Doktorantka trafnie przyjęła i scharakteryzowała funkcje celu oraz zmienne decyzyjne. Przyjęty zbiór dopuszczalnych wariantów sterowania jest wystarczający do realizacji celów pracy. Przyjęte założenia do wyznaczania krzywych grzania i chłodzenia są wystarczające. Również założenia do bilansu obciążeń termicznych dla pomieszczenia są poprawne. Z punktu widzenia aplikacji opracowanej metody rozwiązania zagadnienia współpracy systemu HVAC z TABS i wentylacji w budynku edukacyjnym zaproponowane działania są także trafne i adekwatne do rozwiązania podjętego problemu. Opis modeli geometrycznego i technologicznego wybranej sali dydaktyczno-wykładowej jest bardzo czytelny. Wybór obiektu analizy trafny. Należy podkreślić, że Doktorantka wykorzystwała szeroki zakres narzędzi badawczych, tj. badania ankietowe, rejestracje i analizę danych empirycznych na potrzeby weryfikacji algorytmów modeli symulacyjnych, czy narzędzia w postaci programu Transys17 na potrzeby analiz z wykorzystaniem modeli symulacyjnych. Biorąc pod uwagę ocenę tej części warsztatu Doktorantki oraz jego wykorzystanie w ocenianej rozprawie doktorskiej uznałem, że Doktorantka uzyskała umiejętności poprawnego wyboru obiektu i metodyki badań dla rozwiązania podjętego problemu naukowego.

Nie wnoszę uwag do uzyskanych przez Doktorantkę wyników badań i wynikających z nich wniosków szczegółowych (rozdział 4 i 5 rozprawy) czy wniosków końcowych przedstawionych w podsumowaniu rozprawy (rozdział 6). Dla przyjętych założeń oraz algorytmów obliczeniowych interpretacja uzyskanych wyników jest trafna a uzyskane wnioski szczegółowe odnoszą się do przyjętego zakresu pracy doktorskiej. Należy podkreślić dużą zwięzłość a zarazem czytelność w prezentacji uzyskanych wyników co powoduje, że pracę czyta się bardzo dobrze, pomimo dużej szczegółowości analiz. Należy podkreślić, że wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły postawione tezy badawcze oraz mają istotne znaczenie również dla projektantów systemów HVAC w budynkach edukacyjnych wyposażonych w system przegród aktywowanych termicznie. Przedstawione przez Doktorantkę podsumowanie i wnioski odnoszą się do przyjętych celu i zakresu pracy oraz wynikają z przedstawionego materiału w rozprawie. Należy również wyróżnić załączniki do pracy. Są to obszerne i szczegółowe badania stanowiące integralną część głównej części rozprawy doktorskiej. Materiał ten jest także bardzo dobrze przygotowany nie tylko pod względem treści, ale również tabelarycznej i graficznej prezentacji wyników badań. Oceniając tą część pracy doktorskiej uważam, że Doktorantka wykazała się umiejętnością realizacji badań, prezentacji uzyskanych wyników badań, ich analizy oraz formułowania wniosków.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską uważam, że istotnym oryginalnym osiągnięciem pracy jest opracowanie metody sterowania systemem HVAC z TABS, która pozwala na wyznaczenie zbioru dopuszczalnych krzywych grzania i chłodzenia. Ponadto na podstawie uzyskanych wyników badań i analiz Doktorantka sformułowała istotne kierunki dalszych badań, pomimo uzyskania dla wybranego

obiektu badawczego wysokiego komfortu cieplnego przy obniżeniu zapotrzebowania na nośnik energii pierwotnej.

Uwagi dyskusyjne

1. Czy na obecnym etapie badań można wskazać dane wejściowe lub zmienne decyzyjne lub inne elementy opracowanej metody, które mogą w istotny (wrażliwy) sposób oddziaływać na uzyskany komfort cieplny i efekt energetyczny?
2. Czy zastosowanie energoptymalnego algorytmu sterowania dla systemu HVAC z TABS+VAV pozwoliło na uzyskanie niższego zapotrzebowania na energię pierwotną niż w przypadku systemu HVAC TABS+DCV?

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Pałaszyńskiej pt. „Sterowanie energoptymalne systemami ogrzewania i chłodzenia ze stropami aktywowanymi termicznie współpracującymi z wentylacją w budynku edukacyjnym” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z obszaru efektywności energetycznej systemów HVAC i wnosi nowy stan wiedzy do dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Jej poziom merytoryczny spełnia wymagania obecnych przepisów w tym zakresie. Uważam, że rozprawa doktorska potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Elementem nowości ocenianej rozprawy jest opracowanie metody sterowania systemem HVAC z TABS, która pozwala na rozwiązanie istniejącego i istotnego problemu w postaci konieczności poprawy komfortu cieplnego użytkowników m.in. budynków edukacyjnych przy jednoczesnym obniżeniu zużycia nośników energii pierwotnej. Należy podkreślić szeroki i bardzo szczegółowy zakres badań jaki należało zrealizować oraz szeroki zakres narzędzi badawczych jakie zostały wykorzystane, aby rozwiązać postawiony problem naukowy. Pomimo bardzo wąskiej specjalizacji obszaru badawczego praca jest bardzo czytelna i zrozumiała dla odbiorcy.

Wobec powyższego wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę istotne osiągnięcia ocenianej rozprawy doktorskiej przedstawione we wniosku końcowym mojej recenzji uważam, że praca doktorska pt. „Sterowanie energoptymalne systemami ogrzewania i chłodzenia ze stropami aktywowanymi termicznie współpracującymi z wentylacją w budynku edukacyjnym” autorstwa mgr inż. Katarzyny Pałaszyńskiej zrealizowana pod opieką dr. hab. inż. Mieczysława Porowskiego, prof. PP, przy wsparciu dr. inż. Karola Bandurskiego zasługuje na wyróżnienie.

