

Gliwice, 12.11.2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Katarzyny PAŁASZYŃSKIEJ

pt.: „Sterowanie energooptymalne systemami ogrzewania i chłodzenia ze stropami aktywowanymi termicznie współpracującymi z wentylacją w budynkach edukacyjnych”

wykonanej pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Mieczysława Porowskiego, prof. PP
i promotora pomocniczego dr inż. Karola Bandurskiego

1. Podstawa wykonania recenzji

Podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej, prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego o sygnaturze WISIE.63.2024.50 z dnia 20 września 2024 r. wystosowane zgodnie z uchwałą Rady dyscypliny inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 17 września 2024 r.

Recenzję wykonano w oparciu o dostarczony egzemplarz pracy doktorskiej.

2. Zasadność podjętej tematyki

Komfort cieplny użytkowników pomieszczeń edukacyjnych, takich jak klasy, sale wykładowe czy laboratoria, jest jednym z kluczowych elementów wpływających na efektywność nauki oraz samopoczucie uczniów i nauczycieli. Właściwe warunki termiczne sprzyjają koncentracji, zmniejszają zmęczenie i poprawiają zdolność do przyswajania wiedzy. Odpowiednio sterowane systemy ogrzewania, wentylacji i chłodzenia (HVAC) powinny zapewnić wymagane warunki termiczne w pomieszczeniu. W przypadku budynków edukacyjnych pojawiają się wyzwania związane ze zmiennymi w ciągu doby obciążeniami cieplnymi. Zmienność tych obciążeń wynika z kilku czynników wewnętrznych: obecności ludzi, sprzętu elektronicznego, oświetlenia, ale także zewnętrznych: temperatury, nasłonecznienia i wymiany powietrza. Optymalne dostosowanie systemów ogrzewania, wentylacji czy klimatyzacji i ich regulacja może przyczynić się do oszczędności energii, poprawiając jednocześnie jakość środowiska wewnętrznego.

Systemy aktywacji termicznej konstrukcji budynku (TABS), które polegają na wykorzystaniu elementów konstrukcyjnych budynku (takich jak płyty stropowe i ściany) do magazynowania i oddawania ciepła to innowacyjne podejście do efektywnego zarządzania energią w budynkach, które może przyczynić się do znaczącej redukcji zużycia energii oraz poprawy komfortu użytkowników. Choć

wymagają odpowiedniego zaprojektowania i integracji z innymi systemami, ich potencjał w zakresie zrównoważonego rozwoju oraz efektywności energetycznej sprawia, że są coraz chętniej wykorzystywane w nowoczesnym budownictwie. Systemy te wspierają budownictwo ekologiczne, ponieważ pozwalają na optymalizację zużycia energii i redukcję nagłych wahań temperatury w pomieszczeniach, zapewniając lepszy komfort dla użytkowników.

Systemy TABS bazujące na akumulacji ciepła w przegrodach mogą nie być w stanie w pełni realizować funkcji ogrzewania i chłodzenia i dynamicznie kompensować gwałtownej zmiany obciążeń cieplnych w budynkach edukacyjnych. Integracja TABS z systemami wentylacyjnymi może zapewnić efektywne działanie obu systemów w zakresie odprowadzenia obciążeń cieplnych.

Chociaż integracja systemów TABS i wentylacji może przynieść wiele korzyści, wymaga odpowiedniego zaprojektowania, aby systemy te mogły działać w pełnej synchronizacji. Wymaga to zaawansowanego podejścia do projektowania obu układów oraz zastosowania inteligentnych systemów zarządzania, które mogą monitorować i dostosowywać parametry termiczne i wentylacyjne w czasie rzeczywistym. Dlatego też słusznym kierunkiem są działania zmierzające do pozyskania nowych informacji i uzupełnienia wiedzy w tym zakresie. Doktorantka w pracy przeprowadziła ocenę aktualnego stanu badań nad systemami HVAC ze stropami aktywowanymi termicznie i określiła zakres dodatkowych badań w celu rozszerzenia tej wiedzy. Zatem celowość podjęcia tej tematyki w pracy doktorskiej przez Panią mgr inż. Katarzynę Pałaszyńską jest słuszną i uzasadnioną. Temat rozprawy został sformułowany prawidłowo.

3. Ogólna charakterystyka układu rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa napisana jest w języku polskim i liczy 177 stron. Praca obejmuje: 6 numerowanych rozdziałów głównych zawierających 49 tabel i 72 rysunki, streszczenia w języku polskim i angielskim, wykaz ważniejszych oznaczeń umieszczone na początku pracy oraz spis 80 cytowanych pozycji bibliograficznych i załączniki Z1 i Z2 umieszczone na końcu pracy.

W rozprawie doktorskiej w części studialnej zamieszczono następujące rozdziały: *Wprowadzenie i geneza podjęcia badań* oraz *Stan badań nad systemami HVAC ze stropami aktywowanymi termicznie*. Następnie zdefiniowano *Problem badawczy, cel, zakres i tezy pracy*.

W badawczej części pracy Doktorantka przedstawiła kolejno rozdziały: *Zagadnienie energooszczędnej sterowania systemem TABS i wentylacji budynków edukacyjnych*, *Aplikacja metody rozwiązania zagadnienia współpracy systemu HVAC z TABS i wentylacji w budynku edukacyjnym* oraz *Podsumowanie*. Część badawcza pracy jest uzupełniona danymi i analizami zawartymi w *Załącznikach*.

Układ pracy należy uznać za prawidłowy.

4. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Część studialną pracy rozpoczyna wprowadzenie do tematu, które zawiera krótkie uzasadnienie wyboru tematyki badawczej wynikające z potrzeby pogłębiania specjalistycznej wiedzy na temat kształtowania i kontroli warunków cieplnych i jakości powietrza w pomieszczeniach edukacyjnych oraz zastosowania do tego celu systemów aktywacji termicznej konstrukcji budynku (TABS). Doktorantka podkreśla, że dotychczasowe zastosowania i badania systemów TABS skupiały się przede wszystkim na budynkach biurowych, które w przeciwieństwie do budynków edukacyjnych, nie charakteryzują się dynamicznymi zmianami liczby osób w pomieszczeniach i dużą zmiennością wartości bezwzględnych obciążeń cieplnych. Doktorantka zwraca uwagę na wady TABS, związane z brakiem szybkiej reakcji na gwałtowne zmiany obciążenia budynku i jednocześnie podkreśla możliwość zrekompensowania tych wad przez połączenie pracy TABS z systemem wentylacji mechanicznej w budynku, a efektywne

działanie obu systemów może zapewnić implementacja zaawansowanych strategii sterowania i integracja z systemami BMS.

W rozdziale 2 obejmującym dwa podrozdziały opisano aktualny stan wiedzy związany z tematem rozprawy. Tą część rozpoczyna definicja TABS oraz fizyczne podstawy ich działania. Wspomniano o ograniczeniach działania systemów TABS jakimi są ryzyko wykroplenia wilgoci oraz regulacja. Analiza chronologii pojawiających się artykułów związanych z tematem TABS, pozwoliła prześledzić ewolucję badań w tym zakresie. Na podstawie przeglądu literatury stwierdzono, że zastosowanie TABS może generować znaczące oszczędności energii w budynku, jednak efektywność energetyczna tych systemów jest znacząco uzależniona od zastosowanej topologii obiegu hydraulicznego. Kolejne zagadnienie poruszane w tej części to sterowanie systemami HVAC z TABS, które stanowi wyzwanie ze względu na długi czas reakcji i dużą bezwładność cieplną tego układu, co utrudnia utrzymanie temperatury powietrza w pomieszczeniu na wymaganym poziomie. Przytoczono kilkanaście badań dotyczących tego tematu. Doktorantka zwraca też uwagę, że system aktywowanych przegród budynku nie doprowadza do wnętrza powietrza świeżego, musi więc on współpracować z instalacją wentylacyjną. Omówienie badań dotyczących integracji TABS z systemami wentylacyjnymi w celu efektywniejszego odprowadzenia obciążeń kończy część studialną rozprawy.

Po zapoznaniu się z przeglądem literaturowym można stwierdzić, że jest on raczej zwięzły i przedstawia dosyć ogólnie temat badawczy. Doktorantka przedstawiła w opracowaniu części teoretycznej tylko 56 pozycji literaturowych, co jest liczbą raczej skromną w obecnych czasach, kiedy dostęp do publikowanych wyników badań jest powszechny. Jednak przeprowadzenie syntetycznej analizy danych literaturowych pozwoliło na jasne określenie luki badawczej i wskazuje na zadowalającą umiejętność Doktorantki do poszukiwania i systematyzowania wiedzy naukowej.

W rozdziale 3 Doktorantka sformułowała problem badawczy i określiła cel, zakres i tezy pracy. Doktorantka następująco określiła problem badawczy: *sformułowanie i rozwiązanie zagadnienia współpracy TABS i wentylacji do odprowadzenia obciążeń termicznych w systemach HVAC w budynkach o dużych i dynamicznie zmieniających się obciążeniach chłodniczych, zwłaszcza w budynkach edukacyjnych.*

Celem naukowym rozprawy było więc *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. Zakłada się przy tym, utrzymanie parametrów komfortu cieplnego w założonych przedziałach, przy minimalnych nakładach energetycznych.*

Tezy rozprawy doktorskiej brzmią: *Systemy TABS z wentylacją mechaniczną sterowaną w funkcji higienicznej i odprowadzania części obciążeń termicznych umożliwiają – dla budynków o dynamicznie zmieniających się wewnętrznych obciążeniach chłodniczych, stanowiących duży udział w bilansie obciążeń termicznych – uzyskanie mniejszych (węższych) przedziałów zmienności parametrów komfortu cieplnego, w stosunku do sterowania wentylacją mechaniczną tylko w funkcji higienicznej – w konsekwencji zapewniają lepszy komfort cieplny.*

oraz

Dla systemów HVAC z TABS oraz wentylacją mechaniczną odprowadzającą część obciążeń termicznych można wyznaczyć energooszczędne algorytmy sterowania, w tym takie krzywe grzania i chłodzenia, dla których roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla odprowadzenia obciążeń termicznych jest minimalne.

Postawiony cel można uznać za słuszny w omawianym obszarze badawczym i mający praktyczne zastosowanie w obszarze projektowania i eksploatacji systemów HVAC. Osiągnięcie celu głównego wymagało zrealizowania przez Doktorantkę zadań szczegółowych, takich jak:

- przeprowadzenie ankiet wśród użytkowników budynków edukacyjnych w celu poznania ich oczekiwań co do warunków cieplnych wraz z wykonaniem pomiarów temperatury i wilgotności powietrza w pomieszczeniach edukacyjnych;
- opracowanie modelu symulacyjnego działania systemu HVAC z TABS w programie TRNSYS i jego weryfikacja na podstawie pomiarów przeprowadzonych w obiekcie rzeczywistym;
- opracowanie algorytmu wyznaczania energooszczędnych krzywych grzania i chłodzenia dla systemu HVAC z TABS i określenie strategii wykorzystania powietrza wentylacyjnego do odprowadzania obciążeń cieplnych oraz ich implementacja do modelu numerycznego; przeprowadzenie symulacji wielowariantowych i ocena efektywności proponowanych rozwiązań.

W części analityczno-obliczeniowej pracy najpierw opisano algorytm rozwiązania problemu badawczego – metodę energooszczędnego sterowania TABS i wentylacji budynków edukacyjnych, a następnie przedstawiono wyniki symulacji numerycznych na modelu cieplnym budynku uwzględniającym opracowany algorytm sterowania systemem HVAC z TABS.

W rozdziale 4, opisano model optymalizacji proponowanego systemu oraz procedurę optymalizacyjną. Celem optymalizacji było wyznaczenie sterowania energooszczędnego systemem przy dopuszczalnych przedziałach tolerancji parametrów komfortu cieplnego. Należy tu jednak zaznaczyć, że Doktorantka nie oceniała wskaźników komfortu cieplnego ludzi, a jedynie założony zakres temperatury operatywnej przyjęty jako przedział zapewniający komfort cieplny użytkownikom. Jako zmienne decyzyjne w procedurze optymalizacyjnej przyjęto zbiór krzywych grzania i chłodzenia (współczynników kierunkowych oraz par temperatur przełączenia trybu pracy stropu aktywowanego termicznie na funkcję grzania lub chłodzenia). Obliczenia prowadzone były dla dwóch przypadków: dla systemu HVAC z TABS i wentylacji mechanicznej tylko o funkcji higienicznej oraz dla systemu HVAC z TABS i wentylacji o funkcji higienicznej i częściowego odprowadzenia obciążeń cieplnych. Jako funkcję celu przyjęto minimum rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną.

Rozdział 5 rozpoczyna opis modelu symulacyjnego, który został zbudowany w programie TRNSYS17, popularnym i dobrze zwalidowanym narzędziu do symulacji energetycznych systemów i budynków. Model cieplny nie obejmuje całego budynku, a jedynie badane pomieszczenie edukacyjne oraz wszystkie pomieszczenia z nim sąsiadujące. W przypadku, kiedy ocenie poddawane jest tylko jedno pomieszczenie takie podejście jest prawidłowe, znacznie upraszcza modelowanie i czas prowadzonych obliczeń bez straty na jakości wyników. Powinny być jednak prawidłowo określone warunki brzegowe na przegrodach wewnętrznych pomieszczeń, które sąsiadują z przestrzeniami pominiętymi w modelu (czego niestety brakuje w opisie). Symulacje przeprowadzono dla dwóch orientacji ścian zewnętrznych pomieszczenia (północno-wschodniej i południowo-zachodniej). Pewnym uproszczeniem jest przyjęcie stałej wartości strumienia powietrza infiltrującego do pomieszczenia z zewnątrz. Biorąc jednak pod uwagę bardzo mały udział tego strumienia w bilansie cieplnym, wpływ tego uroszczenia na wynik końcowy jest mało znaczący. W modelu przyjęto ruchome zacielenie okien i określono jego algorytm działania, nie jest znany natomiast rodzaj tego elementu i jego właściwości optyczne. W modelu przyjęto stałe przez cały rok zyski ciepła jawnego od ludzi. Biorąc pod uwagę przyjętą wartość 75 W/osobę można przypuszczać, że celem było przyjęcie wartości średniej z okresu lata i zimy, co było zapewne konsekwencją przyjętego zakresu dopuszczalnej temperatury operatywnej w pomieszczeniu (22–24°C). Przyjęcie stałego przedziału wymaganej temperatury przez cały rok było pewnym uproszczeniem, które ułatwiło analizę, jednak stoi

w sprzeczności z założeniami klimatyzacji komfortu przy projektowaniu której zakres temperatury wewnętrznej dla lata i zimy jest różny ze względu na różne preferencje cieplne człowieka w tych okresach. Podobne podejście można znaleźć w standardach ASHRAE czy normie PN-EN ISO 7730:2006. Przyjęcie założeń badawczych jest prawem każdego badacza, jednak wymaga dostarczenia odpowiednich uzasadnień. Tym bardziej, że z dużym prawdopodobieństwem można przypuszczać, że obniżenie wymaganej temperatury wewnętrznej w zimie i podniesienie jej w lecie skutkowałoby jeszcze lepszą efektywnością proponowanych w pracy systemów.

Opisując model numeryczny Doktorantka przedstawiła przyjęte założenia i podała dane wejściowe, w tym dane takie jak strumień CO₂ emitowany przez ludzi, czy izolacyjność odzieży, które następnie nie były brane pod uwagę w modelu numerycznym. Wprowadza to niepotrzebne zamieszanie związane z danymi wejściowymi w oparciu, o które przygotowano model cieplny. Obliczenia prowadzono dla danych standardowych (Typowego Roku Meteorologicznego dla Poznania), co jest prawidłowe i powszednie stosowane w badaniach naukowych.

Model poddano weryfikacji wykorzystując do tego celu dane pomiarowe temperatury wewnętrznej oraz dane meteo z lutego 2021 roku. Biorąc pod uwagę przedstawione przebiegi temperatury wewnętrznej nie zgodzę się z wnioskiem Doktorantki, że wynik weryfikacji modelu obliczeniowego można uznać za pozytywny. Obliczona temperatura wewnętrzna zarówno swoim przebiegiem, jak i chwilowymi wartościami różni się znacząco od tej zmierzonej. Nie ma informacji czy przeprowadzono dostrojenie modelu numerycznego. Nie przeprowadzono analizy błędu i nie określono korelacji wartości zmierzonych i obliczonych. Różnice między temperaturą rzeczywistą a przewidywaną przez model wynosiły średnio 1,55 K (mediana 1,74 K), co jest wartością znaczącą, biorąc pod uwagę bardzo wąski zakres tolerancji temperatury przyjęty w dalszych analizach (2 K). Wątpliwości budzi również praktycznie idealna równość wartości prognozowanej temperatury powietrza i temperatury operatywnej, co przy dwóch przegrodach zewnętrznych w pomieszczeniu (których temperatura powierzchni w okresie zimowym była raczej niższa od temperatury powietrza) jest zaskakujące.

Symulacje przeprowadzono dla 88 przypadków biorąc pod uwagę usytuowanie pomieszczenia, harmonogram użytkowania, warunki otoczenia, system wentylacji mechanicznej (DCV i VAV) i tryb przełączania TABS. Plusem pracy jest zestawienie wszystkich wariantów i ich oznaczeń w jednej tabeli w załączniku, co pomaga czytelnikowi śledzić analizę przy tak dużej liczbie rozpatrywanych przypadków. Oceniano warunki cieplne w pomieszczeniu edukacyjnym oraz zapotrzebowanie na energię końcową i pierwotną. Moim zdaniem lepiej byłoby stosować określenie „ocena warunków cieplnych w pomieszczeniu” zamiast „ocena komfortu cieplnego”, ponieważ komfort cieplny nie był oceniany w analizach numerycznych. Również mylące jest „przeskakiwanie” w założeniach i analizie pomiędzy temperaturą powietrza a temperaturą operatywną, które Doktorantka rozpatrywała w tych samych zakresach; można pogubić się co tak na prawdę było kryterium wiążącym. Doktorantka jasno omówiła uzyskane wyniki zgodnie ze sztuką prowadzenia dyskusji w opracowaniach naukowych. Trochę szkoda, że nie skonfrontowano rezultatów badań z innymi dostępnymi w doniesieniach literaturowych. Rozdział 5 kończy wybór wariantu optymalnego.

Rozdział 6 to podsumowanie badań, gdzie Doktorantka zawarła ogólne wnioski z pracy, które potwierdziły postawione na początku pracy tezy. Zawarto także ograniczenia badań i kierunki dalszych prac w zakresie systemów aktywacji termicznej konstrukcji budynku.

Badania numeryczne dopełniono badaniami ankietowymi odczuć cieplnych oraz pomiarami temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnętrznego oraz stężenia CO₂ przeprowadzonymi przez Doktorantkę w pomieszczeniach edukacyjnych o dwóch lokalizacjach względem stron świata, których omówienie zawarto w załączniku Z1.

Analizując treść pracy i opis wyników należy stwierdzić, że Doktorantka wykazała się umiejętnością analizy wyników badań i ich opracowania graficznego i syntetycznego podsumowania. Doktorantka nie ustrzegła się usterek o różnym charakterze: redakcyjnych, stylistycznych i merytorycznych. Ich wskazanie powinno ułatwić Doktorantce poprawne opracowanie tekstów publikacji w dalszej pracy naukowej. Moim zdaniem tematyka ocenianej pracy jest interesująca, a przede wszystkim aplikacyjna. Przedstawione rezultaty badań wnoszą elementy nowości w rozwój nauki dotyczącej systemów ogrzewania wentylacji i klimatyzacji w budynkach edukacyjnych.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

1. Podana na stronie 20 definicja temperatury operatywnej jako wartość równa średniej arytmetycznej z temperatury powietrza i średniej temperatury promieniowania jest prawdziwa jedynie dla przypadku prędkości powietrza nie większej niż 0,2 m/s.
2. W modelu numerycznym określono zyski od oświetlenia na poziomie 5 W/m², co jest wartością słuszną dla rozpatrywanego w pracy pomieszczenia. Kluczowy dla chwilowego bilansu cieplnego pomieszczenia jest natomiast harmonogram działania oświetlenia. Proszę o doprecyzowanie jakie założenie przyjęto tym zakresie.
3. Zacienienie i osłony przeciwsłoneczne decydują o zyskach ciepła od nasłonecznienia, które są ważnym składnikiem bilansu cieplnego pomieszczenia. Nie wiadomo jaki element zacieniający został zastosowany i jakie są jego właściwości optyczne.
4. Do selekcji energooszczędnych rozwiązań przyjęto stały w ciągu całego roku dopuszczalny przedział temperatury operatywnej zapewniającej komfort cieplny użytkownikom. Stoi to w sprzeczności z ogólnie przyjętymi zasadami w światowych standardach, ale również pomiarami przedstawionymi w załączniku Z1 oraz założeniami projektowymi rzeczywistego pomieszczenia będącego bazą modelu numerycznego. Ta kwestia wymaga wyjaśnienia.
5. W części dotyczącej pomiarów in situ w pomieszczeniu określając np. medianę czy średnią, wartości temperatury podawano z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku, natomiast dokładność rejestratorów była na poziomie tylko 0,5°C; poprawnym byłoby podawanie wartości z dokładnością do jednego miejsca po przecinku.
6. Doktorantka wysnuła wniosek, że *zapotrzebowanie na ciepło wzrasta, gdy temperatura w pomieszczeniach otaczających nie jest utrzymywana w przedziale komfortowym. Wartości energii są wyraźnie wyższe i mogą wynosić nawet około 45% do ponad 50% w porównaniu do sytuacji, gdy temperatura w pomieszczeniach sąsiednich jest utrzymywana w przedziale 22–24°C.* Należy tu jednak zauważyć, że rozpatrywane pomieszczenie stanowi jedynie fragment budynku i generuje tylko część zapotrzebowania na energię całego budynku. Redukcja zapotrzebowania na ciepło w pomieszczeniu testowym jest efektem wzrostu zapotrzebowania na energię pomieszczeń sąsiednich (na utrzymanie wymaganej temperatury). Należałoby porównać uzyskany efekt w pomieszczeniu testowym z włożonym nakładem energetycznym w pomieszczeniach sąsiednich.

6. Ocena strony redakcyjnej i językowej

Pomimo należytej staranności Doktorantka nie ustrzegła się błędów edytorskich i stylistycznych. Poniżej przedstawiłam kilka uwag/spostrzeżeń:

- w tekstach w języku polskim jako znak dziesiętny liczb należy stosować przecinek;
- kropkę stawia się na końcu zdania po odwołaniu do literatury a nie przed;

- zamiast „*komfort cieplny w budynku*” należało zastosować określenie „*komfort cieplny użytkowników budynku*”; podobnie nieprawidłowym jest określenie „*Wariant ten cechuje się najwyższym komfortem*”, komfort cieplny jest to odczucie subiektywne człowieka;
- na str. 34 zamiast „9:20:15” powinno być raczej „8:00–20:15”;
- na rys. 14 wykresy A i B chyba zostały wstawione odwrotnie. Na pomocniczej osi Y powinno być raczej n a nie m ;
- na str. 41 mowa jest o *obecności ludzi i wewnętrznych źródeł ciepła*, a na str. 46 o *wewnętrznych zyskach wilgoci, które wynikają z procesów takich jak oddychanie, gotowanie czy korzystanie z urządzeń domowych*. Nie wiadomo jakie źródła miała na myśli Autorka;
- strona 55 „...opisanej w 0...”. Co to jest 0?
- w tab. 5.23 zamiast $5 W/m$ powinno być $5 W/m^2$;
- w tab. 5.23 w przyjętych ograniczeniach jest temperatura powietrza, natomiast wcześniej podawano, że kryterium jest dopuszczalny przedział tolerancji temperatury operatywnej; z kolei do określenia temperatury punktu rosy powietrza powinna być podana temperatura powietrza a nie temperatura operatywna;
- podpisy pod rysunkami przebiegu temperatury w rozdziale 5 wskazują jedynie temperaturę powietrza, natomiast na wykresach jest również temperatura operatywna;
- co w tab. 0.19 oznacza „*Zamknięte pod względem wentylacji*”?
- puste strony lub fragmenty stron 87, 92, 119, 122, 124, 131, 133, co jest spowodowane najprawdopodobniej błędami przy formatowaniu tekstu.

W pracy pojawiało się jeszcze kilkanaście drobnych błędów literowych i stylistycznych, których wymienienie pominę w tej recenzji.

7. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedłożoną do oceny rozprawę doktorską oceniam pozytywnie, w mojej opinii wnosi ona nowe aspekty w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Opisane błędy i uchybienia merytoryczne, moim zdaniem nie dyskredytują wyników pracy autorki. Zasadnicza merytoryczna część pracy została przedstawiona w sposób właściwy, zgodny z zasadami opracowań naukowych. Przedstawiony w dysertacji materiał badawczy jest spójny i wartościowy zarówno pod względem praktycznym, jak i naukowym. Zaprezentowane wyniki prac wskazują na umiejętność prowadzenia przez Doktorantkę badań naukowych, opracowania i dyskusji wyników oraz wyciągania wniosków.

Oceniając wartość naukową i poznawczą rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Pałaszyńskiej pt. „*Sterowanie energooszczędnych systemami ogrzewania i chłodzenia ze stropami aktywowanymi termicznie współpracującymi z wentylacją w budynkach edukacyjnych*” stwierdzam, że spełnia ona wymagania formalne zawarte w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789), dlatego wnioskuję do Rady dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Katarzyny Pałaszyńskiej do dalszego etapu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Andrzej Grypa