

Prof. dr hab. inż. Wojciech Marks

Piaseczno, al. 3 Maja 3

Warszawa, dnia 3 listopada 2010 r.

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Walczaka pt. „Wykorzystanie masy termicznej budynku przy sterowaniu jego systemem ogrzewczym”

1. Omówienie zakresu rozprawy.

Opiniowana rozprawa liczy 142 strony i składa się z sześciu rozdziałów oraz bibliografii obejmującej 100 pozycji.

W rozdziale pierwszym zatytułowanym „Wstęp” Autor zamieścił interesujące wprowadzenie do zagadnienia oszczędności energii w eksploatacji budynków, omówił obszernie metody zarządzania energią zmierzające do zapewnienia komfortu przy możliwie małym zużyciu energii oraz przedstawił cel i zakres pracy. Celem pracy jest określenie wpływu pojemności cieplnej budynku na zużycie energii i koszty ogrzewania, a także na stabilizację temperatury wewnątrz budynku. Istotnym elementem pracy jest wykorzystanie metod sztucznej inteligencji do sterowania systemem grzewczym zlokalizowanym w ogrzewaniu podłogowym, co pozwala na dalsze obniżenie kosztów energii przeznaczonej na cele grzewcze. Realizacja celu pracy wymagała: analizy możliwości jakie daje ogrzewanie płaszczyznowe w budynku energooszczędnym przy wykorzystaniu dwóch taryf opłat za energię elektryczną, zbadania wpływu takiego ogrzewania na komfort termiczny w pomieszczeniu, zbadania wpływu pojemności cieplnej konstrukcji budynku na zapotrzebowanie energii w sezonie ogrzewczym, zbadania wpływu strategii nadażno-programowalnych. Ważnym elementem pracy było zbadanie wpływu grubości warstwy betonu, w której zainstalowane jest ogrzewanie płaszczyznowe i mocy tego ogrzewania, na koszt ogrzewania pomieszczeń i temperaturę w ich wnętrzu.

W rozdziale drugim Doktorant opisał algorytmy sztucznych sieci neuronowych wykorzystywanych do krótkoterminowego prognozowania parametrów pogody, przedstawiając m.in. architekturę sieci oraz metody jej uczenia. Jako parametry pogody istotne z punktu widzenia sterowania ogrzewaniem płaszczyznowym Autor uznał średnią temperaturę na zewnątrz budynku, średnią prędkość wiatru i średnie nasłonecznienie w

ciągu najbliższych 6 godzin. Celem tej części pracy było: wskazanie odpowiedniego algorytmu uczenia sieci, znalezienie optymalnej liczby neuronów w warstwie ukrytej, znalezienie optymalnych wag początkowych, zbadanie czułości wyników uczenia na zmiany wartości wag początkowych i liczby neuronów w warstwie ukrytej. Po analizie Autor przyjął sieć składającą się z warstwy wejściowej, jednej warstwy ukrytej i warstwy wyjściowej. W warstwie ukrytej przyjęto 10 neuronów w przypadku każdego z prognozowanych parametrów. Do uczenia sieci zastosowano algorytm gradientów sprzężonych z regularyzacją.

W rozdziale trzecim Doktorant omówił podstawy teoretyczne algorytmów uczenia się ze wzmocnieniem, a następnie przedstawił oryginalny system inteligentnego sterowania ogrzewaniem. Zaproponowano oryginalne połączenie dwóch rodzajów systemu uczenia. Pierwszym z elementów systemu jest sieć neuronowa, która przewiduje krótkoterminowe parametry pogody mające bezpośredni wpływ na zapotrzebowanie energetyczne budynku. Drugim elementem jest agent uczący się ze wzmocnieniem, który podejmuje decyzję o włączeniu lub wyłączeniu systemu grzewczego na podstawie aktualnych warunków pogodowych, temperatury wewnętrznej oraz krótkoterminowej prognozy pogody podawanej przez sieć neuronową. Sieć jest wcześniej wyuczona modelem pogody i podaje prognozę średniej temperatury zewnętrznej w ciągu kolejnych 6 godzin. System uczący się ze wzmocnieniem na bieżąco doskonali swoją strategię działania.

Rozdział czwarty poświęcony jest symulacji procesów wymiany ciepła w budynku. Zbudowany został model procesów wymiany ciepła w budynku z uwzględnieniem wszystkich mechanizmów jego pozyskiwania, tracenia oraz dróg przepływu pomiędzy elementami składowymi budynku. Zastosowany został znany z literatury model sieciowy. Do numerycznego modelowania wymiany ciepła w budynku wykorzystano metodę różnic skończonych.

W rozdziale piątym Autor przedstawił wyniki symulacji. Rozpatrzone zostały trzy popularne w Polsce rodzaje budynków: budynki o konstrukcji ciężkiej, konstrukcji średnio-ciężkiej i konstrukcji lekkiej. W budynkach każdego rodzaju przyjęte zostały współczynniki przenikania ciepła przegród oraz systemy wentylacji odpowiadające budynkom o niskim zapotrzebowaniu na energię. Wszystkie budynki wyposażone były w ogrzewanie elektryczne płaszczyznowe. Rozpatrzono sześć następujących strategii ogrzewania nadążno-programowalnych:

- nadążna z obniżeniem nocnym,

- nadążna bez obniżenia nocnego,
- nadążna z wymuszeniem od 5⁰⁰ do 6⁰⁰ i od 13⁰⁰ do 15⁰⁰, wraz z obniżeniem nocnym,
- nadążna z wymuszeniem od 4⁰⁰ do 6⁰⁰ i od 13⁰⁰ do 15⁰⁰, wraz z obniżeniem nocnym,
- nadążna z wymuszeniem od 3⁰⁰ do 6⁰⁰ i od 13⁰⁰ do 15⁰⁰, wraz z obniżeniem nocnym,
- nadążna z wymuszeniem od 3⁰⁰ do 6⁰⁰, od 13⁰⁰ do 15⁰⁰ oraz 22⁰⁰ do 23⁰⁰, wraz z obniżeniem nocnym.

Wyniki uzyskane przy zastosowaniu tych strategii ogrzewania porównano z wynikami uzyskanymi przy zastosowaniu inteligentnego termostatu.

Przy wszystkich symulacjach jako, warunki ograniczające przyjęto zapewnienie komfortu termicznego, wizualnego i jakości powietrza wewnętrznego.

Przeanalizowany został również wpływ grubości warstwy betonu, w której zatopione były elementy grzejne oraz moc tych elementów. Grubość warstwy betonu zmieniała się w przedziale od 4 cm do 26 cm, a moc od 100% do 1000% mocy obliczeniowej równoważącej straty przy temperaturze zewnętrznej -20⁰C.

Rozdział szósty zawiera podsumowanie uzyskanych wyników, wnioski, w tym zalecenia projektowe oraz kierunki dalszych badań

2. Ocena rozprawy

Praca doktorska mgr inż. Tomasza Walczaka zawiera dwa elementy. Pierwszym z nich jest opracowanie inteligentnego termostatu sterującego ogrzewaniem podłogowym. Opracowanie tego termostatu wymagało wykorzystania połączenie dwóch rodzajów systemu uczenia: sztucznych sieci neuronowych do prognozowania krótkoterminowego parametrów pogody oraz agenta uczącego się ze wzmocnieniem, który podejmuje decyzję o włączeniu lub wyłączeniu systemu grzewczego na podstawie aktualnych warunków pogodowych, temperatury wewnętrznej oraz krótkoterminowej prognozy pogody podawanej przez sieć neuronową.

Drugim elementem jest eksperyment numeryczny mający na celu zbadanie wpływu sześciu strategii nadążno-programowalnych oraz strategii przyjmowanej przez inteligentny termostat na koszt ogrzewania w przypadku budynków o konstrukcji ciężkiej, konstrukcji średnio-ciężkiej i konstrukcji lekkiej. Ponadto jako zmienne w eksperymencie przyjęto grubości warstwy betonu, w której zatopione były elementy grzejne oraz moc tych elementów.

Opiniowaną rozprawę oceniam bardzo pozytywnie z niżej wymienionych powodów.

1. Tematyka rozprawy jest aktualna i ważna zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia.
2. Cel rozprawy został jasno sprecyzowany i w pełni osiągnięty.
3. Zakres pracy jest imponujący. Doktorant przedstawił obszerną i aktualną wiedzę dotyczącą tematyki rozprawy, a także bardzo szeroko zaprogramowany eksperyment numeryczny. Opracował oryginalny inteligentny termostat sterujący ogrzewaniem podłogowym i podał warunki, w których jego zastosowanie przynosi korzyści.
4. W rozprawie Doktorant wykazał opanowanie nowoczesnych metod sztucznej inteligencji i umiejętność posługiwania się programami symulacyjnymi.
5. Doktorant wykazał umiejętność formułowania zagadnienia naukowego i wyboru odpowiednich narzędzi potrzebnych do jego rozwiązania.
6. Wyniki uzyskane w pracy są interesujące poznawczo i mają bezpośrednie zastosowanie w projektowaniu ogrzewania płaszczyznowego budynków.
7. Pozycje bibliograficzne zostały wybrane właściwie i świadczą o dobrym rozeznaniu Doktoranta w zakresie aktualnej literatury przedmiotu.
8. Praca jest przygotowana niezwykle starannie pod względem edytorskim. W obszernej pracy udało mi się znaleźć jedynie następujące błędy:
 - str. 41 wiersz 15 od dołu i str. 61 wiersz 2 od góry brak numeru pozycji bibliograficznej,
 - str. 69 wiersze 15 i 16 od dołu powinno być: całkowity koszt, a nie całkowite zużycie energii.

Uważam ponadto, że zakres zmienności grubości płyty betonowej wynoszący od 4 cm do 26 cm jest zbyt duży. Jako maksymalna grubość wystarczyło by 15 cm. Optymalna grubość płyty wyniosła nie więcej niż 12 cm.

3. Wniosek końcowy.

Reasumując stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Tomasza Walczaka spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony. Uważam ponadto, że ze względu na wysoki poziom naukowej rozprawy, jej zakres i możliwość wykorzystania wyników w praktyce warto ją zgłosić do nagrody Ministra Infrastruktury.