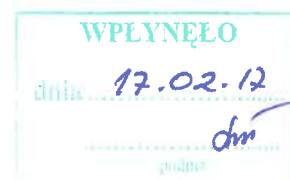


dr hab. inż. Damian Mazur, prof. PRz
Katedra Elektrotechniki i Podstaw Informatyki
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechnika Rzeszowska
tel. (17) 743 2469, mazur@prz.edu.pl

Rzeszów, 31.01.2017 r.



Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Jakuba Greli

**pt. „ANALIZA WPŁYWU SYSTEMÓW AUTOMATYZACJI
NA EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ
INSTALACJI I OBIEKTÓW BUDOWLANYCH”**

dla Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH napisana na zamówienie L.Dz. WEAlIB-b/510-23-2/13 Dziekana, prof. dr. hab. inż. Ryszarda Sroki, z dnia 16.12.2016 r.

1. Przedmiot rozprawy

Wybór tematyki rozprawy należy uznać za zasadny oraz wymagający wiedzy z zakresu elektrotechniki i automatyki, a w szczególności systemów sterowania i automatyzacji budynków. Rozprawa stanowi wynik prac badawczych i eksperymentalnych, prowadzonych przez mgr. inż. Jakuba Grełę, koncentrujących się na określeniu wpływu funkcji systemów sterowania budynkami na ich efektywność energetyczną. Doktorant dokonał analizy znaczenia funkcji automatyzacji i sterowania dla poszczególnych podsystemów, instalacji technologicznych montowanych w budynkach oraz przedstawił koncepcję wariantów i strategii sterowania, opierając się na zidentyfikowanych wcześniej funkcjach i obszarach integracji. Przeprowadził badania eksperymentalne zaproponowanych i opracowanych modeli funkcjonalnych systemów automatyzacji i sterowania budynków, w których wykazał możliwość weryfikacji wpływu tych systemów, w zależności od ich organizacji, na efektywność energetyczną budynków. Dodatkowo zostały przeprowadzone badania ukierunkowane na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej instalacji oświetlenia przestrzeni publicznej, sterowanej z wykorzystaniem systemu automatyzacji stosowanego w budynkach. Doktorant określił założenia i wytyczne organizacji budynkowych systemów zarządzania energią, realizowanych jako integralne elementy systemu automatyzacji i sterowania budynkiem, w celu poprawy efektywności energetycznej budynków.

Energia jest obecnie towarem o znaczeniu strategicznym. W celu zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju stosuje się różne rozwiązania, jak chociażby wdrożenie energetyki odnawialnej, która przez dywersyfikację źródeł pozyskiwania energii uniezależnia jej produkcję od paliw kopalnych. Kolejny element to racjonalizacja użytkowania energii. Znacząca część, około 40% wytwarzanej energii, jest zużywana w budynkach. Sposobem na zmniejszenie zapotrzebowania na energię w budynkach o kilka, a nawet kilkanaście procent jest stosowanie systemów automatyzacji i sterowania, które odgrywają coraz ważniejszą rolę w zwiększeniu komfortu użytkownika, zapewnieniu bezpieczeństwa użytkowników i poprawie efektywności energetycznej obiektów budowlanych. W celu realizacji wspomnianych zadań opracowuje się i rozwija nowe standardy automatyki budynkowej. Ciągłe jednak wyzwaniem dla naukowców i przemysłu jest taka organizacja systemów sterowania, aby działały one skutecznie i efektywnie.

2. Cel, zakres i układ pracy

Rozprawa doktorska liczy 211 stron, łącznie ze spisem treści, indeksem oznaczeń, skrótów i terminów obcojęzycznych, bibliografią oraz streszczeniami w języku polskim i angielskim. Praca składa się z 7 rozdziałów, a bibliografia zawiera 86 pozycji, w tym 7 prac współautorskich. Celem pracy była weryfikacja wpływu funkcjonowania systemów automatyzacji i sterowania budynków, zaimplementowanych w różnych wariantach sterowania, na poprawę efektywności energetycznej instalacji i obiektów budowlanych.

Rozdział pierwszy, zatytułowany „Wstęp”, zawiera wprowadzenie do zagadnienia technologii i systemów automatyzacji oraz przybliża główne obszary ich zastosowań w budynkach. Dodatkowo przedstawiono w nim tezę i cele pracy oraz krótko omówiono tematykę poszczególnych rozdziałów.

W drugim rozdziale, zatytułowanym „Identyfikacja obszarów i elementów infrastruktury budynkowej charakteryzujących się znaczącym potencjałem w zakresie poprawy efektywności energetycznej”, Autor rozprawy, na podstawie odpowiednich dyrektyw i norm branżowych, zdefiniował pojęcie efektywności energetycznej oraz dokonał identyfikacji parametrów budynków i ich instalacji, elementów infrastruktury energetycznej budynków oraz elementów infrastruktury sterującej budynkami i monitorującej, wpływających na zmniejszenie zużycia energii.

Trzeci rozdział, zatytułowany „Analiza możliwości poprawy efektywności energetycznej budynków i ich instalacji z wykorzystaniem rozproszonych systemów automatyzacji”, poświęcono analizie znaczenia funkcji automatyzacji i sterowania budynku dla poszczególnych podsystemów i instalacji technologicznych (ogrzewanie i chłodzenie, przygotowanie ciepłej wody użytkowej, wentylacja i klimatyzacja, oświetlenie, zasłony i rolety oraz techniczne zarządzanie domem i budynkiem). Ponadto Autor opracował analizę obszarów integracji i ocenę znaczenia określonych zbiorów funkcjonalności rozproszonych systemów automatyzacji, ukierunkowanych na poprawę efektywności energetycznej infrastruktury budynkowej. Doktorant przedstawił koncepcję wariantów i strategii sterowania, która nabiera istotnego znaczenia z punktu widzenia projektanta systemów automatyzacji i sterowania budynków.

Czwarty rozdział dotyczy badań wariantów sterowania w rozproszonych systemach automatyzacji i zawiera analizę ich wyników. Doktorant opracował modele funkcjonalne systemów automatyki dla wybranych, popularnych typów obiektów o różnym profilu użytkowania. Następnie wykorzystując posiadaną infrastrukturę laboratoryjną (opisaną w rozdziale), zapewniającą możliwość realizacji różnych wariantów sterowania systemu automatyzacji, dokonał badań i pomiarów modeli dla czterech wariantów sterowania, odpowiadających klasom D, C, B i A, wynikających z odpowiednich, omówionych wcześniej norm. Przedstawił analizę wyników badań modeli funkcjonalnych dla pomieszczeń o wybranych profilach użytkowania – biuro i sala lekcyjna. Dokonał weryfikacji zakresu i przedstawił wnioski dotyczące oddziaływania zintegrowanych funkcjonalnie systemów automatyzacji na efektywność energetyczną podsystemów, urządzeń i instalacji w budynkach.

W piątym rozdziale, pt. „Organizacja systemu automatyzacji zorientowanego na poprawę efektywności energetycznej sterowanych instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych”, Doktorant przedstawił możliwość wykorzystania budynkowych systemów automatyzacji w obszarze sterowania instalacji oświetlenia zewnętrznego, w celu zmniejszenia ich zużycia energii. Opracował wytyczne organizacji takich systemów sterowania, a następnie przeprowadził badania eksperymentalne pilotażowej instalacji oświetlenia dla różnych wariantów sterowania, odpowiadających również badanym wcześniej klasom D, C, B i A. Udowodnił, że organizacja systemu sterowania ma wpływ na zużycie energii przez instalacje oświetleniowe.

Rozdział szósty, zatytułowany „Lokalne systemy zarządzania energią”, zawiera sformułowane przez Autora rozprawy wytyczne organizacji budynkowych systemów zarządzania energią. Przedstawiono w nim również sposób organizacji systemu pomiaru i zarządzania energią w laboratorium wykorzystanym jako infrastruktura badawcza omówiona w rozdziale czwartym.

Rozdział siódmy to podsumowanie monografii. Zawarto w nim wnioski końcowe i kierunki dalszych badań.

3. Merytoryczna ocena pracy

Cel pracy zrealizowano poprzez:

- zidentyfikowanie obszarów i elementów infrastruktury budynkowej, charakteryzujących się potencjałem w zakresie poprawy efektywności energetycznej,
- przeprowadzenie analizy możliwości i dokonanie oceny przydatności i znaczenia określonych funkcji systemów automatyzacji i sterowania w procesie poprawy efektywności energetycznej budynków i instalacji,
- opracowanie modeli funkcjonalnych systemów automatyzacji i sterowania oraz zweryfikowanie zakresu ich oddziaływania na efektywność energetyczną podsystemów, urządzeń i instalacji w budynkach,
- opracowanie wytycznych dotyczących organizacji systemów automatyzacji, zorientowanych na poprawę efektywności energetycznej sterowanych instalacji oświetlenia przestrzeni publicznych,
- opracowanie i scharakteryzowanie zasad i czynników, istotnych w organizacji budynkowych systemów zarządzania energią.

Poprzez zrealizowanie celu pracy udowodniono tezę, że „dobór i integracja funkcjonalności systemów automatyzacji ma wpływ na poprawę efektywności energetycznej instalacji i obiektów budowlanych. Na podstawie analizy przypadku implementacji systemów automatyzacji w różnych wariantach sterowania istnieje możliwość weryfikacji zakresu tego wpływu oraz ustalenia poziomu integracji funkcji operatorskich i zarządzania, istotnych dla osiągnięcia zadanego celu”. Wyniki badań poddano szerokiej analizie i w sposób przejrzysty przedstawiono na wykresach oraz w formie tabelarycznej.

Rezultaty przeprowadzonych badań mają zastosowanie praktyczne i mogą zostać wykorzystane przez projektantów branży budowlanej, a w szczególności projektantów i integratorów systemów automatyzacji i sterowania budynków.

4. Szczegółowe uwagi formalne i merytoryczne

Układ redakcyjny pracy jest przejrzysty i logiczny, co znakomicie ułatwia jej lekturę. Wątpliwości nie budzi również strona językowa. W pracy występują pojedyncze błędy, głównie edytorskie, które nie mają istotnego wpływu na jakość pracy.

Uwagi krytyczne i pytania

Wnikliwa analiza pracy nasuwa kilka krytycznych uwag i pytań. Uwagi te wskazują raczej kierunki dalszych badań, związanych bezpośrednio z tematyką poruszaną w pracy doktorskiej. Nie są argumentami dyskredytującymi osiągnięcia Doktoranta.

1. Przedstawiona w pracy klasyfikacja sprawności energetycznej (klasy A, B, C i D) odnosi się do systemów automatyzacji i sterowania budynków i nie jest tożsama z klasyfikacją energetyczną budynków (przykładowo znaną z audytów energetycznych). Czy może Pan określić zależności pomiędzy tymi klasyfikacjami?
2. Popyt na energię w budynkach jest kształtowany przez wiele czynników, głównie klimatycznych, ale także obecność i sposoby aktywności osób przebywających w pomieszczeniach. W pracy Doktorant nie przedstawił korelacji pomiędzy przeprowadzonymi badaniami a atmosferycznymi czynnikami zewnętrznymi oraz nie podał, czy w czasie eksperymentu uwzględniano pobyt i zachowania użytkowników pomieszczeń.

3. Czy może Pan określić, jaka jest zależność pomiędzy przedstawionymi na rysunkach 4.15 i 4.16 wariantami sterowania (tradycyjny, harmonogramy, kontrola dostępu i komfort) a badanymi w pracy wariantami dla klas A, B, C i D?
4. Analizując wykresy przedstawione na rysunkach od 4.17 do 4.24, można zauważyć stosunkowo małe i stałe zużycie energii elektrycznej na oświetlenie – literatura z reguły przypisuje dość znaczący udział w zużyciu energii na ten cel. Czy może Pan wyjaśnić, czym ten fakt jest spowodowany?
5. Na wykresach od 5.5 do 5.11 pojawia się pojęcie „Natężenie oświetlenia – wartość obciążenia lampy [%]” – na podstawie jakich pomiarów, czym mierzono tę wartość?
6. Tytuł rozdziału 6. „Lokalne systemy zarządzania energią” jest mało precyzyjny. Sugerowałbym tytuł: Organizacja systemów zarządzania energią w budynkach, gdyż to angielski termin Building Energy Management System jest spotykany w literaturze.
7. W tabeli 6.1 wymieniono funkcje systemów zarządzania energią, które przypisano poszczególnym kategoriom. Wśród funkcji znalazły się również te związane z obsługą prosumentów. Z kolei spośród zidentyfikowanych elementów infrastruktury sterującej i monitorującej budynku, wpływających na efektywność energetyczną nie uwzględniono tych elementów, które mogłyby mieć związek z Odnawialnymi Źródłami Energii. Czy może Pan wskazać zastosowanie systemów automatyzacji i sterowania budynków we współpracy z OZE?
8. W rozprawie stosunkowo mało miejsca poświęcono na opis instalacji pomiarowej wykorzystanej do zebrania wyników eksperymentu oraz nie podano szczegółowych danych dotyczących instalacji technologicznych i urządzeń w badanej infrastrukturze. Z uwagi na chęć ograniczenia objętości pracy, w załączniku można było podać w formie tabeli najistotniejsze informacje.
9. Przykładem drobnych błędów edytorskich może być fakt, że w bibliografii dwukrotnie pojawia się ta sama pozycja: [19] i [55], której Doktorant jest współautorem.

Należy podkreślić, że powyższe uwagi nie mają wpływu na moją wysoką merytoryczną ocenę pracy.

Tematy do rozważenia

1. Jak zachowują się moduły automatyki, w przypadku wystąpienia awarii technicznej związanej z brakiem ich zasilania, w kontekście realizowanych przez nie funkcji (wartości punktów nastaw, parametry konfiguracyjne, tymczasowe obliczenia)? Czy przechodzą w domyślne wartości itp.
2. Proszę przedstawić założenia idei i technologii Internetu Rzeczy w obszarze systemów automatyzacji i sterowania budynków. Czy zastosowanie rozwiązań Internetu Rzeczy wpłynie na zmianę organizacji systemów sterowania?
3. Jakie Doktorant zna rozwiązania i metody wykorzystania systemów automatyzacji i sterowania budynków w aktywnym zarządzaniu popytem na energię?
4. Proszę przedstawić sposoby i przykładowe wykorzystanie opracowanych przez Doktoranta wniosków w procesie projektowania budynków, w szczególności systemów automatyzacji i sterowania.

5. Ogólna ocena rozprawy i wniosek końcowy

Za główne osiągnięcia pracy uważam:

- wykazanie wpływu organizacji systemów automatyzacji i sterowania na różne zużycie energii instalacji technologicznych i podsystemów w budynkach,
- zwrócenie uwagi na brak arbitralności wskazań normy PN-EN 15232:2012,
- wykazanie celowości stosowania systemów automatyzacji i sterowania w celu zmniejszenia zużycia energii elektrycznej w instalacjach oświetlenia przestrzeni publicznych,
- opracowanie wytycznych dotyczących organizacji budynkowych systemów zarządzania energią,
- sformułowanie wniosków, które przyjmują formę dobrej praktyki podczas planowania i realizacji systemów automatyzacji i sterowania budynków.

Doktorant wykazał się umiejętnością poprawnego wyboru i sformułowania naukowego celu pracy. Następnie logicznie i konsekwentnie, z dobrą znajomością zagadnienia, cel ten zrealizował.

Uwzględniając odnotowane oryginalne osiągnięcia naukowo-badawcze oraz poznawcze walory rozprawy, a także to, że przedstawione uwagi nie podważają jej zasadniczych wartościom stwierdzam, że **recenzowana rozprawa mgr. inż. Jakuba Greli spełnia wymagania obowiązującej Ustawy**. Wniosuję do Wysokiej Komisji wyłonionej decyzją Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o przyjęcie pracy oraz dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Jacek Mezur