

prof. dr hab. inż. Halina Koczyk
Politechnika Poznańska
Instytut Inżynierii Środowiska
Zakład Ogrzewnictwa, Klimatyzacji i Ochrony Powietrza
ul. Berdychowo 4
60-965 Poznań

Poznań, 9.07.2019r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła DYRCZA pt.

„Sprawność eksploatacyjna układów solarnych małej mocy”

promotor: dr hab. inż. Henryk FOIT, prof. PŚI

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na zlecenie Pani Prodziekan Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej dr hab. inż. Joanny Kalki, – zgodnie z decyzją Rady Wydziału IŚiE PŚI z dnia 26.04.2019.

2. Krótka charakterystyka pracy

Praca pt. „Sprawność eksploatacyjna układów solarnych małej mocy” obejmuje 186 stron wraz z wykazem rysunków, tablic i streszczeniami.

Tekst podzielono na trzy części: wstępną, przygotowania badań oraz podstawową obejmującą wyniki badań, ich analizę i wnioski.

Część wstępna obejmuje: wykaz ważniejszych oznaczeń, indeksów i skrótów oraz wprowadzenie zawierające opisy instalacji solarnych małej mocy oraz ich krótką charakterystykę wraz z nakreśleniem problematyki projektowania, symulacji i monitorowania. Uwieńczeniem tej części jest sformułowanie celu, zakresu i tez pracy doktorskiej.

Część przygotowania badań zawiera charakterystykę obszaru badań, instalacji solarnych wytypowanych do badań i analiz oraz opis systemu

monitoringu jego elementów składowych, wielkości mierzonych oraz dokładności zastosowanych mierników, liczników, czujników i zestawów telemetrycznych.

Część podstawowa obejmuje: charakterystykę cyklu pomiarowego (pełen rok 2017), analizę podstawowych charakterystycznych temperatur w instalacji c.w.u., z.w., c.o. oraz czynnika roboczego w instalacji solarnej, analizę czasu pracy elementów systemu przygotowania c.w.u., a także rozkładu temperatur w zasobniku c.w.u. pod kątem stratyfikacji, przebiegów zapotrzebowania i zużycia energii na cele przygotowania c.w.u. w wybranych okresach oraz podsumowanie wyników pracy.

Całość zakończono wykazem bibliografii zawierającym również normy i przepisy. Spis literatury zawiera 52 pozycje, w tym 11 obcojęzycznych. W literaturze znajduje się 1 pozycja Autora wraz z Promotorem.

Praca dotyczy ważnej problematyki związanej z zaopatrzeniem budynków, w szczególności mieszkalnych jednorodzinnych, w ciepłą wodę użytkową. Jest to ważny składnik zużycia energii cieplnej, którego względny udział w całkowitym zużyciu stale rośnie w stosunku do zapotrzebowania ciepła na cele ogrzewania i wentylacji w wyniku polepszania izolacyjności cieplnej przegród budynku. Równocześnie wystąpiła tendencja do unowocześnienia rozwiązań układów przygotowania c.w.u. poprzez stosowanie w nich instalacji kolektorów słonecznych. Najpopularniejsze stało się wyposażanie w instalacje solarne budownictwa jednorodzinne.

Racjonalne projektowanie, wykonanie i właściwa eksploatacja układów solarnych do przygotowania c.w.u. jest problemem bardzo ważnym z punktu widzenia technicznego, ekonomicznego i ekologicznego. Pozwala to ograniczyć nadmierne zużycie energii pierwotnej i przyczynia się do mniejszego zanieczyszczenia środowiska produktami spalania oraz zmniejsza koszty eksploatacyjne.

Wybór przez Doktoranta tematyki oceny efektywności układów solarnych małej mocy, czyli zaopatrujących małe budynki mieszkalne w ciepłą wodę użytkową uważam za aktualny, trafny i potrzebny.

Celem rozprawy według Autora jest określenie rzeczywistej sprawności energetycznej instalacji słonecznych małej mocy pracujących na potrzeby budownictwa jednorodzinne, a także porównanie wyników z długoterminowego monitoringu takich instalacji z wynikami symulacji komputerowych.

Przebadano czterdzieści instalacji solarnych małej mocy, które zostały objęte systemem monitoringu zdalnego. Autor uczestniczył w projektowaniu i realizacji systemu monitoringu.

Zbiór badawczy charakteryzuje się dużą różnorodnością. Spośród czterdziestu instalacji: trzydzieści dziewięć zostało wykonanych w roku 2016 w oparciu o komponenty jednego producenta, a jedna w 2013 roku w oparciu o komponenty innego producenta. Dla zastosowanych kolektorów wykonano badania doświadczalne charakterystyk kolektorów słonecznych zgodnie z obowiązującą metodologią badań oraz porównano wyniki badań z certyfikatami.

Badane instalacje różnią się również rozwiązaniem magazynowania c.w.u.. W zbiorze badawczym są: trzydzieści trzy instalacje jednozbiornikowe (z podgrzewaniem biwalentnym) oraz siedem w systemie dwuzbiornikowym (zbiornik biwalentny z podłączeniem instalacji solarnej oraz zbiornik istniejący z podłączeniem ze źródła konwencjonalnego).

Jeśli chodzi o liczbę kolektorów: jedna instalacja jest zasilana z dwóch kolektorów, osiemnaście instalacji z trzech kolektorów, osiemnaście z czterech kolektorów, dwie z pięciu kolektorów, jedna z sześciu kolektorów.

Według pojemności zbiornika dywersyfikacja jest następująca: trzydzieści sześć instalacji posiada zasobnik o pojemności 300 dm³, trzy - 400 dm³ i jedna - 500 dm³.

Według stosowanego paliwa: sześć instalacji ma źródło konwencjonalne na ekogroszek, cztery na olej opałowy, jedna na energię elektryczną, dwie na pellety, osiemnaście na węgiel, siedem na węgiel i drewno.

Wszystkie instalacje są wyposażone w układy sterująco-pompowe oparte o pompę z przepływomierzem i trzy czujniki temperatury, sterownik główny (klawiatura i wyświetlacz stanowiący interfejs użytkownika) oraz skrzynkę uzupełniającą, a także ogranicznik przepływu płynu solarne.

System monitorowania pracy analizowanych układów solarnych (czterdzieści instalacji oraz cztery stacje meteorologiczne) posłużył do zbierania danych niezbędnych do określenia sprawności eksploatacyjnej układów solarnych małej mocy stosowanych do przygotowania c.w.u. na potrzeby własne jednorodzinnych domów mieszkalnych. System umożliwił odczytanie i zgromadzenie 30 parametrów charakteryzujących pracę układu solarne oraz dwadzieścia parametrów zewnętrznych (dane meteorologiczne).

W badanych instalacjach dane były przesyłane bezprzewodowo na serwer, gdzie były archiwizowane oraz poddane obróbce. System pozwala też na wizualizację zebranych odczytów oraz najważniejszych wyników w czasie rzeczywistym, na ekranie umieszczonym w przestrzeni publicznej.

Wspomniane powyżej cztery stacje meteorologiczne (trzy bazowe oraz jedna zapasowa) oraz trzy pyranometry promieniowania rozproszone zostały zlokalizowane na terenie objętym badaniami w miejscach uznanych za reprezentatywne: Zawieja, Jordanów, Sucha Beskidzka i Tarnawa Górna. Dane ze stacji meteo i pyranometrów przekazywane są za pośrednictwem zestawu telemetrycznego i również gromadzone na serwerze.

Opomiarowanie każdej instalacji solarnej składa się z ciepłomierzy do pomiaru ilości ciepła przekazywanego przez czynnik roboczy z instalacji solarnej i grzewczej do zasobnika c.w.u. oraz ciepłomierzy służących do pomiaru ilości ciepła przekazywanego wraz z c.w.u. użytkownikom, liczników energii elektrycznej oraz czujników temperatury. Zastosowano 2 rodzaje ciepłomierzy MULTICAL: MULTICAL 6M2 Kamstrup współpracujące z mechanicznymi przetwornikami przepływu oraz ciepłomierze ultradźwiękowe MULTICAL 402. Pomiar ilości energii elektrycznej do zasilania układu przygotowania c.w.u. realizowany jest za pomocą liczników energii ALD1.

Czujniki temperatury mierzą temperaturę czynnika roboczego w obwodzie kolektora, temperaturę wody w górnej i dolnej części podgrzewacza. Dodatkowo mierzona jest temperatura w pomieszczeniu podgrzewaczy.

W ramach systemu monitoringu dane pozyskane z instalacji solarnych i stacji meteorologicznych zbierane są przez zestaw telemetryczny z modemem i przekazywane bezprzewodowo na odrębny serwer połączony z laptopem, w którym baza danych jest przetwarzana, sortowana i aktualizowana. System został wykonany tak, aby możliwe było zaprezentowanie jak największej liczby danych z przyrządów pomiarowych. Możliwe sposoby prezentacji danych obejmowały wykresy i tabele.

Wyniki badań zebrano w ośmiu rozdziałach.

Rozdział szósty zawiera charakterystykę analizowanego cyklu pomiarowego (pełen rok kalendarzowy 2017). Analizowano średnie dobowe, miesięczne i roczne ilości promieniowania słonecznego padającego na płaszczyzny poziome oraz pod kątem 45 stopni.

Dla stacji meteorologicznych porównano sumy miesięczne z trzech stacji oraz średnią godzinową strumienia promieniowania całkowitego w charakterystycznych dniach roku.

Identyczne porównania przytoczono dla temperatur powietrza zewnętrznego i prędkości wiatru. Porównywano średnie miesięczne z trzech stacji, średniodobowe temperatury dla czerwca i grudnia oraz częstotliwości występowania przedziałów temperaturowych i prędkości wiatru.

Rozdział ósmy zawiera analizę temperatury wody wodociągowej, c.w.u., czynnika roboczego i czynnika grzewczego.

Temperaturę wody zimnej w formie średnich miesięcznych zaprezentowano dla dziewięciu miejscowości, w których położone są badane instalacje.

Średnie miesięczne temperatury ciepłej wody użytkowej podano dla pięciu powierzchni absorpcji kolektorów słonecznych. Analizowano średniomiesięczne temperatury czynnika roboczego dopływającego z kolektorów słonecznych do wymiennika i zeń wypływającego.

Kolejnym elementem analizy temperatur była temperatura czynnika wpływającego z kolektorów słonecznych, temperatura pomieszczenia zasobników oraz temperatura czynnika roboczego źródła konwencjonalnego.

Zaprezentowano również średniomiesięczne temperatury wody użytkowej w podgrzewaczach w zależności od powierzchni kolektorów, a także średnie miesięczne temperatury dla punktów pomiaru w obrębie czterdziestu instalacji solarnych.

Rozdział dziewiąty obejmuje charakterystykę czasu pracy elementów systemu przygotowania c.w.u.. Charakterystykę tę opracowano w oparciu o obserwację występowania przepływu czynnika w poszczególnych godzinach doby. Analizowano obwód współpracujący z instalacją solarną i ze źródłem konwencjonalnym oraz ich średnie miesięczne czasy pracy w zależności od liczby kolektorów. Zasygnalizowano dla 10 dni lipca czas pracy instalacji solarnych w okresie wymuszonym przez użytkowanie instalacji, związane z włączeniem funkcji chłodzenia zbiornika w okresie braku rozbioru wody w okresie silnego nasłonecznienia.

Porównano również średnią miesięczną liczbę godzin, w których nastąpił pobór c.w.u. w zależności od liczby mieszkańców.

Rozdział dziesiąty podkreśla dręczącą od lat projektantów instalacji c.w.u. i solarnych różnicę w założonych: projektowym i rzeczywistym zapotrzebowaniu na c.w.u..

W pracy porównano średnie miesięczne rzeczywiste ilości wody na rodzinę oraz dobowe w przeliczeniu na osobę, aby wykazać, że w każdej grupie mieszkańców średniodobowe pobory wody są znacznie niższe niż w rozporządzeniach i normach.

Rozdział jedenasty poświęcono stratyfikacji temperatury wody w zbiorniku c.w.u.. Przeprowadzono porównanie wartości średniomiesięcznych temperatur: w dolnej części zbiornika, górnej części zbiornika i na kolektorach słonecznych dla instalacji o różnej wielkości zbiornikach. Badano instalacje wyposażone w zbiorniki o pojemnościach: 300 dm³ (trzy, cztery kolektory) oraz 400 i 500 dm³ (odpowiednio pięć i sześć kolektorów).

Rozdziały dwunasty i trzynasty dotyczą rozkładu zapotrzebowania i zużycia energii niezbędnej do przygotowania c.w.u. oraz wpływu nasłonecznienia na osiągnięcie zakładanej temperatury c.w.u. w zbiorniku w poszczególnych porach roku.

W rozdziale dwunastym przedstawiono rozkład miesięcznych ilości energii pozyskanej z instalacji solarnej, konwencjonalnego źródła ciepła i dostarczonej użytkownikowi w postaci c.w.u. dla instalacji dwukolektorowych.

Wykonano również porównanie średniomiesięcznej ilości energii docierającej do płaszczyzny poziomej, pozyskanej przez układ solarny i wynikiem z symulacji oraz porównano ilości energii ze źródła konwencjonalnego z pomiarów i symulacji. Analogiczne porównania przeprowadzono dla instalacji wyposażonych w trzy, cztery lub pięć kolektorów.

W rozdziale trzynastym dla czterech pór roku porównano wartości energii promieniowania słonecznego w poszczególnych okresach.

Opracowano wyniki dotyczące temperatur w instalacji i zasobniku oraz ilości energii padającej i pozyskanej w układzie dla różnych grup instalacji solarnych małej mocy dla wybranych pór roku. Wyróżnikami grup instalacji solarnych były: powierzchnia absorpcji układu solarnego oraz rodzaj konwencjonalnego źródła ciepła dla podgrzewania c.w.u..

W rozdziałach czternastym i piętnastym analizowano rzeczywistą sprawność systemu przygotowania c.w.u. oraz rzeczywistą sprawność układu solarnego.

W rozdziale czternastym przeprowadzono analizę niepewności pomiarowych typu B (systematycznych) dla ciepłomierzy mierzących: energię przekazywaną z części solarnej (CP1), energię dopływającą z kotła (CP2) oraz mierzącą energię przekazywaną użytkownikowi wraz z c.w.u. (CP3). Rachunek ten został wykonany poprawnie, choć istnieją drobne niedociągnięcia użytego słownictwa. Nie ma słowa o niepewnościach przypadkowych. Użyte terminy nie odpowiadają obowiązującej normie międzynarodowej szwajcarskiej, której odpowiednik wydany w roku 1999 przez Główny Urząd Miar nosi nazwę „Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik”.

W rozdziale piętnastym porównano wartości rzeczywiste sprawności układu solarnego z wynikami symulacji z wykorzystaniem programu GetSolar Professional wersja 11.3.0 i określono wpływ poboru c.w.u. na sprawność układu solarnego.

Rozdział szesnasty zawiera podsumowanie wyników pracy w formie wniosków.

Jako całość, praca stanowi swoisty raport z akcji ujętej w: Programie Ochrony Środowiska Powiatu Suskiego 2004-2007 z perspektywą do 2011 oraz Projektach:

- „Modernizacja instalacji przygotowania c.w.u. w oparciu o zastosowanie systemu solarnego w ramach programu zwiększania wykorzystania odnawialnych źródeł energii i poprawy jakości powietrza w obrębie obszarów NATURA 2000 Powiatu Suskiego”, 2010,
- Dwadzieścia symulacji pracy układów solarnych w programie POLYSUN – program zwiększania wykorzystania odnawialnych źródeł energii i poprawy jakości środowiska w obrębie obszarów NATURA 2000 Powiatu Suskiego”, 2016,
- Zdalnego Monitoringu Instalacji Solarnych w powiecie suskim, 2014,
- Certyfikaty kolektorów – sprawozdania z wyników badań kolektorów

Układ pracy jest logiczny i nie budzi zastrzeżeń, co dowodzi umiejętności właściwego przedstawienia problemu naukowego, sposobu jego rozwiązania oraz uzyskanych wyników.

3. Uwagi krytyczne i kwestie dyskusyjne

Zakres badań przedstawionych w dysertacji obejmuje obserwacje parametrów pracy 40 instalacji solarnych małej mocy prowadzonych w warunkach rzeczywistej eksploatacji instalacji włączony do różnych układów przygotowania c.w.u. w budynkach jednorodzinnych. Badania instalacji dotyczą również wpływu lokalnych warunków meteorologicznych na efektywność układów.

W trakcie opracowywania opinii nasunęły mi się następujące uwagi krytyczne, głównie o charakterze dyskusyjnym.

1. W pracy brak analizy aktualnego stanu wiedzy w tematyce efektywności instalacji solarnych. Tą część zastąpiono wykładem z zakresu praktyki stosowania układów solarnych – obejmującym problemy projektowania, eksploatacji i monitorowania małych układów solarnych.
2. Brak wyraźnego zaznaczenia, w których etapach przygotowania i realizacji wieloletniego programu badań uczestniczył Autor.
3. W rozdziale czwartym w tytule jest teza pracy, w treści zaś zawarto trzy tezy pracy, które są zbliżone do wniosków końcowych wynikających z wieloaspektowej analizy wyników pomiarów.
4. Brak odwołań do wszystkich pozycji literaturowych, dużo literówek w pracy.
5. Niektóre rysunki opatrzone częściowymi lub niewłaściwymi legendami, które należałoby jeszcze raz sprawdzić i poprawić przed ewentualną publikacją pracy.
6. Brak załącznika w formie elektronicznej – plik Excel (CD-ROM).

Numeracja rysunków i tabel zyskałaby na czytelności poprzez powiązanie jej z numerami rozdziałów.

Wnioski wyciągnięto w sposób metodologicznie poprawny, a ich zakres i formę oceniam jako zadowalającą i uprawnioną.

4. Ocena pracy i wniosek końcowy

Mgr inż. Paweł Dyrca w rozprawie doktorskiej, przygotowanej pod opieką dr hab. inż. Henryka Foita, prof. Pol. Śl., rozważał ważną problematykę wykorzystania instalacji słonecznych w zaopatrzeniu w c.w.u. budynków mieszkalnych jednorodzinnych i połączył w sposób właściwy pomiary długoterminowe (monitoring 40 instalacji słonecznych małej mocy) w rzeczywistych warunkach eksploatacji z wynikami programów symulacyjnych (program GetSolar Professional).

Przedstawione uwagi nie umniejszają wartości pracy. Założony cel naukowy został zrealizowany, a uzyskane wyniki mają charakter użyteczny. Stwierdzam, że Doktorant potrafi formułować i rozwiązywać problemy naukowe oraz potrafi je wykorzystać również dla celów inżynierskich.

Jestem przekonana, że przedstawiona praca doktorska mgr inż. Pawła Dyrca odpowiada wymogom Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wnoszę więc do Wysokiej Rady Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej o dopuszczenie jej do publicznej dyskusji.

J. Koczyk