

SEBASTIAN PATER, JANUSZ MAGIERA¹

FUNKCJONOWANIE LABORATORIUM NA ODLEGŁOŚĆ NA PRZYKŁADZIE INSTALACJI GRZEWCZEJ Z ODNAWIALNYMI ŹRÓDŁAMI ENERGII W POŁTAWIE

OPERATION OF DISTANCE LABORATORY ON THE EXAMPLE OF HEATING SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES IN POLTAVA

Streszczenie

W pracy przedstawiono dostępną on-line grzewczą instalację hybrydową z odnawialnymi źródłami energii, funkcjonującą jako laboratorium na odległość. Źródłami ciepła w instalacji zlokalizowanej w Połtawskiej Państwowej Akademii Rolniczej na Ukrainie są kolektory słoneczne (3 próżniowo-rurowe i 2 płaskie) oraz pompa ciepła typu powietrze-woda. Urządzenia te wytworzoną energię cieplną oddają do 3 zasobników solarnych o różnych pojemnościach. Rozbudowany system sterowania DigiENERGY zapewnia optymalną pracę instalacji, jej zdalne sterowanie i bilansowanie energii. Przedstawiono również wyniki pracy instalacji w okresie październik 2011 r. – kwiecień 2012 r.

Słowa kluczowe: instalacja hybrydowa, kolektory słoneczne, pompa ciepła, system sterowania, laboratorium na odległość

Abstract

The paper presents on-line available heating hybrid installation with renewable energy sources which operates as a remote laboratory. Sources of heat in the system which is located in the Poltava State Agricultural University in the Ukraine are solar collectors (3 vacuum-tube and 2 flat-plate) and air-water heat pump. The heat generated by these devices is passed to 3 solar tanks with different capacity. Enhanced DigiENERGY control system ensures optimum performance of the installation, the remote control and energy balancing. The results of the installation operation in the period October 2011 - April 2012 are also presented.

Keywords: control system, heat pump, hybrid installation, remote laboratory, solar collectors

¹ Mgr inż. Sebastian Pater, prof. dr hab. inż. Janusz Magiera, Politechnika Krakowska.

1. Wprowadzenie – idea laboratorium na odległość

Szybkie tempo rozwoju technologii informatycznych otwiera perspektywy całkowicie odmiennego podejścia do procesu edukacji. Osoby pragnące poszerzyć i pogłębić swoje kwalifikacje coraz chętniej korzystają z narzędzi umożliwiających kształcenie na odległość. Dla tych osób, często pracujących w pełnym wymiarze czasu, szczególnie atrakcyjna jest elastyczność przebiegu procesu uczenia się. Obok nauki w dogodnym czasie wyeliminowane zostają koszty dojazdów do ośrodków dydaktycznych i zakwaterowania. Taka forma kształcenia, w przeciwieństwie do tradycyjnego procesu edukacji jest przyjazna dla osób niepełnosprawnych.

Edukacja na odległość ma wiele do zaoferowania dla techników i inżynierów. Dostęp do najnowszej wiedzy i technologii może pozytywnie wpływać na ich rozwój zawodowy, a tym samym napędzać innowacyjność firm w których pracują [1]. Szeroki wachlarz prowadzonych kursów umożliwia zdobywanie dodatkowych kwalifikacji wymaganych przez ciągle rozwijający się rynek pracy [2]. Kształcenie zdalne w edukacji inżynierskiej przynosi jednak kilka dodatkowych wyzwań edukacyjnych [2]. Mianowicie w procesie kształcenia inżynierów szczególnie ważne jest, aby dać im możliwość zdobywania praktycznych umiejętności poprzez pracę na rzeczywistych urządzeniach [2].

W kształceniu na odległość można to osiągnąć tylko poprzez wdrożenie dostępnych *on-line* laboratoriów na odległość, w których w czasie rzeczywistym można przeprowadzać doświadczenia lub obserwować pracę instalacji i przebiegające procesy. Osoby zaangażowane w ten proces w zależności od indywidualnych potrzeb mogą w dowolnie długim czasie praktycznie stosować zdobytą wcześniej wiedzę, nie będąc przy tym ograniczonymi długością tradycyjnych zajęć laboratoryjnych. Ze względu na rosnącą liczbę studentów kierunków ścisłych wybierając taką formę kształcenia unika się przepełnienia sal laboratoryjnych [3]. Udostępnione przez ośrodki badawcze nowoczesne laboratoria na odległość mogą być wykorzystywane przez inne uczelnie, przez co dochodzi do integracji środowisk naukowych i bieżącej wymiany informacji.

Zdalne laboratoria bez odpowiedniej wizualizacji zmian dokonywanych w czasie rzeczywistym przez użytkownika mogą być trudne do zrozumienia dla wielu studentów [4]. Dopiero zobrazowana jednoczesna odpowiedź rozpatrywanej instalacji na wprowadzone zmiany pomaga praktycznie zapoznać się z badanym aspektem systemu sterowania [5]. Interaktywność laboratorium na odległość jest więc konieczna do prawidłowego i szybkiego procesu uczenia się użytkownika.

2. Realizacja projektu w ramach polskiej pomocy w Połtawie

Liczne negatywne skutki związane z eksploatacją tradycyjnych nośników energii, takie jak dziura ozonowa, zanieczyszczenia gleby i powietrza, czy efekt cieplarniany intensyfikują poszukiwania rozwiązań pozwalających na zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w całkowitym bilansie zużywanej energii [6]. Ciągły wyścig technologiczny w obszarze OZE spowodowany przez ochronę środowiska oraz priorytetowe dla państw bezpieczeństwo energetyczne przyczyniają się do powstawania

wielu projektów. W ramach jednego z nich*, realizowanego w roku 2011 przez Politechnikę Krakowską na rzecz Połtawskiej Państwowej Akademii Rolniczej (PPAR) na Ukrainie pod nazwą „Pozyskiwanie energii cieplnej z odnawialnych źródeł energii” zaprojektowano i zmodyfikowano instalację z OZE tak, aby mogła ona funkcjonować jako laboratorium na odległość.

Politechnika Krakowska posiadająca duże doświadczenie w projektowaniu zintegrowanych instalacji z OZE, w tym kilku już funkcjonujących, rozbudowała istniejącą w jednym z budynków PPAR instalację o nowoczesny system sterowania. Pozwala on przez internet zdalnie sterować instalacją hybrydową i przysyłać dane, które umożliwią pełne bilansowanie kosztowe i energetyczne oraz optymalizowanie strumieni energii. Modyfikacja instalacji obejmowała również zamontowanie nowego zasobnika solarnego i kolektorów próżniowo-rurowych typu heat-pipe. Rozpatrywana instalacja służy nie tylko do celów badawczych, czy też szkoleniowych. W tym przypadku ma także za zadanie uzyskać energię ciepłą wykorzystywać do przygotowywania ciepłej wody użytkowej dla domu studenckiego.

Zrealizowana koncepcja laboratorium na odległość umożliwia wymianę doświadczeń w zakresie hybrydowych systemów z OZE oraz współpracę międzyuczelnianą w kolejnych latach w obszarze naukowo-badawczym i dydaktycznym. Dodatkowo zmodyfikowana instalacja pokaże jak duże korzyści ekologiczne, w postaci zmniejszenia emisji Zanieczyszczeń, mogą płynąć z jej użytkowania. Krzewienie rozwiązań ograniczających zużycie konwencjonalnych źródeł energii może przyczynić się do długofalowego, szerszego propagowania wśród społeczności ukraińskiej odnawialnych źródeł energii oraz zmiany, często bardzo mocno ukierunkowanych, postaw społecznych.

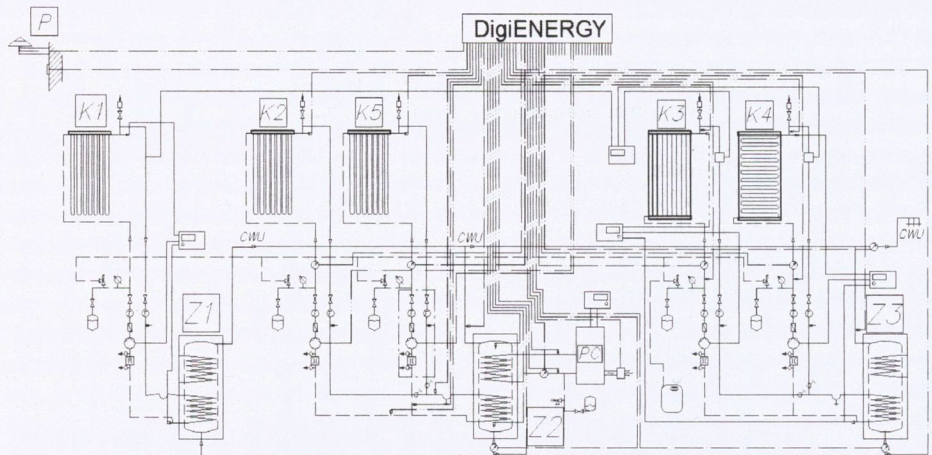
3. Charakterystyka instalacji z OZE w Połtawie

W prezentowanej instalacji, której schemat ideowy przedstawiono na rysunku 1, można wyróżnić 3 grupy współpracujących ze sobą urządzeń:

- pierwszą grupę tworzy zasobnik solarny o pojemności 500 l zasilany energią ciepłą przez dolną wężownicę z dwóch różnych równolegle podłączonych kolektorów próżniowych (pierwszy wyposażony w rurki typu heat-pipe, a drugi w U-rurki) oraz przez górną wężownicę z pompy ciepła typu powietrze-woda o mocy cieplnej 3,8 kW; zasobnik ten zastąpił wcześniejszy 150 l zasobnik,
- w drugiej grupie zasobnik solarny o pojemności 300 l zasilany jest energią ciepłą przez dolną wężownicę z dwóch różnych równolegle podłączonych kolektorów płaskich (jeden o budowie meandrowej, a drugi o budowie harfowej),
- w trzeciej grupie zasobnik solarny o pojemności 200 l zasilany jest energią ciepłą przez dolną wężownicę z jednego kolektora próżniowego wyposażonego w 12 rur próżniowych typu heat-pipe.

Równoległe podłączenie kolektorów do dolnej wężownicy zasobników o pojemności 500 l i 300 l umożliwia porównywanie uzysków energii z kolektorów w tych samych warunkach pracy.

* Praca została wykonana dzięki wsparciu finansowemu z projektu w ramach Partnerstwa Wschodniego finansowanego przez MSZ (umowa dotacji nr 171/PR/2011/JST/IN/)



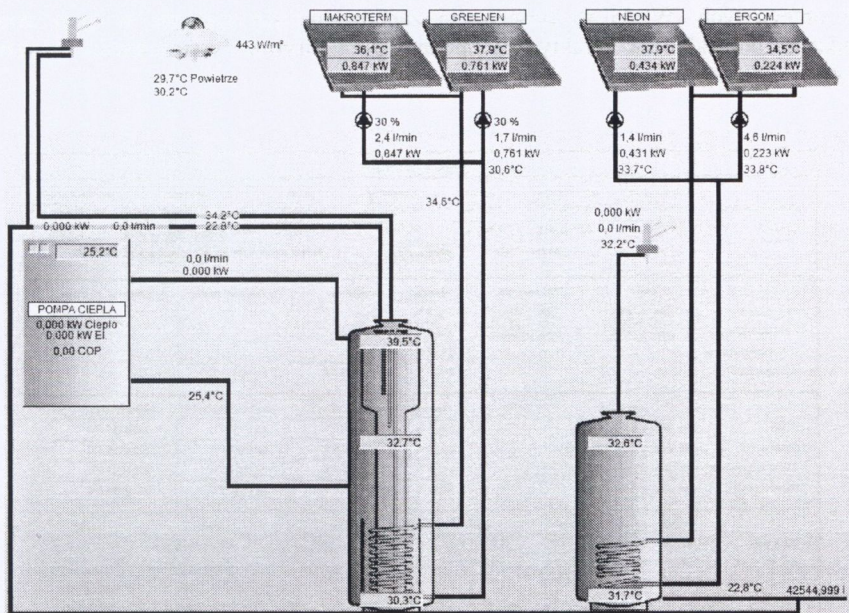
Rys. 1. Schemat ideowy instalacji (P – pyranometr, K1 – 12-rurkowy kolektor próżniowy, K2 – kolektor próżniowy z U-rurkami, K3 – meandrowy kolektor płaski, K4 – harpowy kolektor płaski, K5 – kolektor próżniowy typu heat-pipe, PC – pompa ciepła, Z1 – zasobnik 200 l, Z2 – zasobnik 500 l, Z3 – zasobnik 300 l, CWU – ciepła woda użytkowa) [Źródło: AMT-Projekt]

Fig. 1. Schematic diagram of installation (P – pyranometer, K1 – 12 vacuum tubes collector, K2 – vacuum tube collector with U-pipes, K3 – meander flat-plate collector, K4 – harp flat-plate collector, K5 – heat-pipe vacuum tube collector, PC – heat pump, Z1 – 200 l storage, Z2 – 500 l storage, Z3 – 300 l storage, CWU – domestic hot water) [Source: AMT-Projekt]

4. System sterowania DigiENERGY

Większość dostępnych na rynku sterowników współpracuje tylko z jednym źródłem ciepła [7]. Zastosowanie w rozpatrywanej instalacji kilku źródeł energii cieplnej wymaga użycia rozbudowanego systemu sterowania umożliwiającego współpracę poszczególnych urządzeń. Optymalną pracę instalacji uzyskano stosując zaawansowany system DigiENERGY, który pozwala na regulację i bilansowanie instalacji hybrydowej zawierającej po stronie wytwarzania ciepła do 3 źródeł energii, a po stronie odbioru energii 4 obiegi grzewcze [6].

W przedmiotowej instalacji DigiENERGY pełni funkcję regulacyjno-pomiarową w przypadku dwóch kolektorów próżniowych podłączonych do zasobnika o pojemności 500 l. Natomiast funkcję tylko i wyłącznie pomiarową pełni dla pompy ciepła oraz dwóch kolektorów płaskich podłączonych do zasobnika o pojemności 200 l. Praca pompy ciepła regulowana jest przez fabryczny sterownik, natomiast sterowniki solarne dbają o właściwą pracę płaskich kolektorów i kolektora próżniowego zasilającego zasobnik o pojemności 150 l. Na rysunku 2 przedstawiono schemat elementów instalacji obsługiwanych przez DigiENERGY.



Rys. 2. Schemat obsługiwanych elementów instalacji w głównym oknie DigiENERGY

Fig. 2. Scheme of supported elements of the installation in the main DigiENERGY window

Komunikacja z tym inteligentnym systemem sterowania odbywa się poprzez wbudowany moduł internetowy do transmisji danych na odległość. Każda osoba korzystająca z przeglądarki internetowej oraz dysponująca dostępem do sieci internet może w czasie rzeczywistym obserwować jak funkcjonuje instalacja bez jakiegokolwiek ingerencji w jej pracę [6]. Oprócz tego poziomu dostępu do systemu, który może być wolny lub chroniony hasłem, istnieją 3 kolejne poziomy:

- użytkownika, w którym można zmieniać podstawowe ustawienia instalacji,
- instalatora do konfiguracji połączeń, kalibracji czujników i przepływomierzy oraz ręcznego załączania urządzeń wykonawczych,
- programisty, który pozwala na ingerencję w oprogramowanie systemu sterowania [6, 7].

Aktualne parametry pracy instalacji są na bieżąco rejestrowane i prezentowane w formie dziennych lub rocznych wykresów przebiegu temperatur i zużycia energii [7]. Dane dotyczące instalacji są zapisywane w pamięci systemu, z możliwością podglądu każdego dnia do 16 miesięcy wstecz [7].

DigiENERGY oferuje również możliwość przejścia w tryb ręczny/testu aktywnego (rys. 3), w którym w rozpatrywanej instalacji można zmieniać wskazania wszystkich zamontowanych czujników temperatury oraz ustalać procentowy wydatek nominalny pomp obiegowych. Ta niezwykle ważna z dydaktycznego punktu widzenia funkcja systemu sterowania umożliwia symulowanie sytuacji ekstremalnych, takich jak przejście kolektorów słonecznych w stan stagnacji, przegrzanie zasobników solarnych, czy zatrzymanie pracy

pomp obiegowych. Wnikliwa obserwacja zachowania się systemu w tych skrajnych warunkach pozwala na praktyczne poznanie algorytmów sterowania instalacjami hybrydowymi z OZE.

test / tryb ręczny									
	palnik zadane	moc szczytowa	pompa	temperatura	powrót		mieszacz		mieszacz powrót
POMPA CIEPŁA	0.0°C 0.0°C	0.0°C 0.0°C	0 % 0 %	24.0°C 0.0°C	24.1°C 0.0°C	wylac	otwier zam.	wylac zam.	*** °C 0.0°C
Kessel 2	0.0°C 0.0°C	0.0°C 0.0°C	0 % 0 %	*** °C 0.0°C	*** °C 0.0°C	wylac	otwier zam.	wylac zam.	*** °C 0.0°C
bypass przeplywu *** otwier zam.									
bypass powrot wylac otwier zam.									
	zawór	zawór tróji	pompa	temperatura	temperatura powrót				pompa ład. do bufora
CWU ładowanie 1	*** w zam.	*** w zam.	0 % 0 %						*** w wylac
CWU ładowanie 2	*** w zam.	*** w zam.	0 % 0 %						
C W U wielki zbiornik			0 % 0 %						
Wamwasser Zirk.			0 % 0 %	25.2°C 0.0°C	*** °C 0.0°C				
	mieszacz		pompa	temperatura	temperatura powrót				temperatura Zb.
NEON	wyla otwier zam wylac		0 % 0 %	25.0°C 0.0°C	24.7°C 0.0°C				200.0°C 0.0°C
ERGOM	wyla otwier zam wylac		0 % 0 %	24.2°C 0.0°C	24.6°C 0.0°C				200.0°C 0.0°C
C W U mały zbiornik	wyla otwier zam wylac		0 % 0 %	24.7°C 0.0°C	22.3°C 0.0°C				200.0°C 0.0°C
Zbiornik mały	wyla otwier zam wylac		0 % 0 %	21.8°C 0.0°C	20.7°C 0.0°C				200.0°C 0.0°C
	temperatura	powrót	pompa	suma		zawór			zawór
GREENEN	23.0°C 0.0°C	24.2°C 0.0°C	0 % 100 %	22.8°C 0.0°C		*** otwier zam.			1
MAKROTERM	20.1°C 0.0°C	24.5°C 0.0°C	0 % 100 %		zawór bypass	*** otwier zam.			2
Kolektor W.T. Oben	*** °C 0.0°C	*** °C 0.0°C	0 % 0 %	*** °C 0.0°C	otwier zam.				
Kolektor W.T. Listan	*** °C 0.0°C	*** °C 0.0°C	0 % 0 %	*** °C 0.0°C	otwier zam.				
						CWU VI zawór			CWU pow zawór
						*** w zam.			*** w zam.
zawalcz temperatura przefiltrowany	19.2°C 0.0°C	19.8°C	WZ	22.7°C 0.0°C	zasobnik góra	góra powrót	23.7°C 0.0°C	zasobnik na dole	na dole powrót
					32.2°C 0.0°C	*** °C 0.0°C		*** °C 0.0°C	20.6°C 0.0°C

Rys. 3. Okno trybu ręcznego DigiENERGY

Fig. 3. Manual mode window of the DigiENERGY

Interaktywny system pozwala na modyfikację bardzo dużej liczby parametrów pracy instalacji jednocześnie dając natychmiastową odpowiedź na wprowadzone zmiany. W rozpatrywanym systemie można m.in. indywidualnie ustalić maksymalną temperaturę wody w zasobnikach, procentową zawartość glikolu propylenowego w płynie solarnym, minimalny przepływ płynu solarnego, minimalną szerokość impulsu w regulacji obrotów pomp obiegowych metodą PWM (Puls Width Modulation), dobowe programy przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz ochrony przed bakteriami z rodziny Legionella.

Oprócz wymienionych funkcji DigiENERGY może wykonywać dla dowolnie wybranego przedziału czasu bilanse zużywanego i wytwarzanej energii cieplnej, bądź elektrycznej przez poszczególne urządzenia lub obiegi grzewcze instalacji. Jest to szczególnie pomocne przy ustalaniu rzeczywistych wydatków lub zysków związanych z wytwarzaniem energii z danego źródła ciepła. W instalacji zamontowano również pyranometr do pomiaru strumienia promieniowania słonecznego padającego na jednostkę powierzchni kolektorów. Dzielne dane uzyskiwane z niego są zapisywane w pamięci wewnętrznej, a w dalszej kolejności mogą być wykorzystywane do określenia sprawności kolektorów słonecznych.

5. Wyniki pracy instalacji w okresie 10.2011 - 04.2012

Dane uzyskane z 7 miesięcy pracy instalacji w Połtawie zebrano w tabeli 1.

Tabela 1

Dane z 7 miesięcy pracy instalacji w PPAR

Rok	2011			2012				Suma
Miesiąc	Październik	Listopad	Grudzień	Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	
Energia elektryczna zużyta przez PC [kWh]	446,9	541,8	511,9	354,6	176,3	378,6	132,5	2542,6
Energia ciepła wytworzona przez PC [kWh]	707,2	796,1	680,1	333,5	165,6	383,6	180,4	3246,5
Średnia wartość COP PC	1,58	1,47	1,33	0,94	0,94	1,01	1,36	1,28
Miesięczny uzysk energii z kolektora [kWh]:								
Plaskiego meandrowego	25,0	4,1	0,6	0,5	1,9	16,1	69,4	117,6
Plaskiego harfowego	20,2	5,2	1,1	1,6	5,6	13,3	32,1	79,1
Próżniowego z U-rurkami	49,7	18,3	4,2	14,2	32,0	62,0	112,8	293,2
Próżniowego typu heat-pipe	88,2	35,2	11,2	35,2	77,6	119,5	178,8	545,7

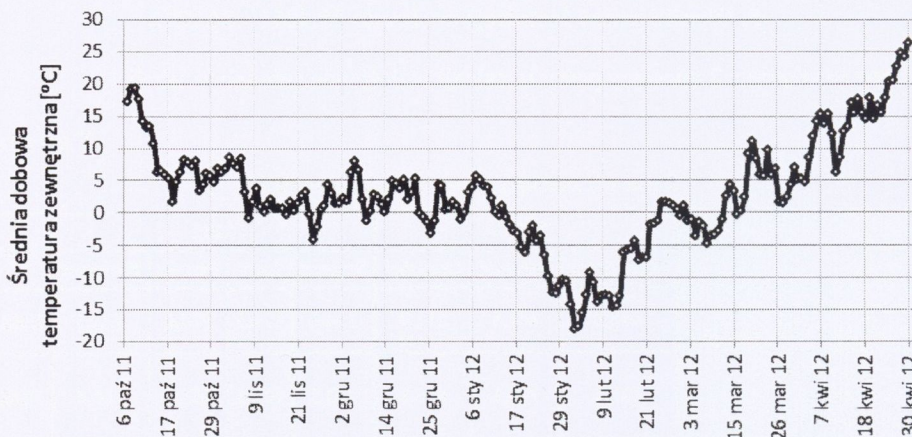
Wyliczony w tabeli 1 współczynnik efektywności pracy pompy ciepła COP (ang. Coefficient Of Performance) jest definiowany następująco:

$$COP = \frac{Q}{L} = \frac{Q_o + L}{L} = 1 + \frac{Q_o}{L} \quad (1)$$

gdzie:

- Q – ilość energii cieplnej przekazywanej przez PC do górnego źródła ciepła,
- L – ilość energii elektrycznej zużytej w PC do napędu agregatu sprężającego,
- Q_o – ilość energii cieplnej pozyskanej przez PC z dolnego źródła ciepła.

Niskie wartości średniego współczynnika COP w miesiącu styczniu i lutym wynika z obniżenia się średniej dobowej temperatury zewnętrznej w Połtawie (według zebranych danych przedstawionych na rysunku 4 średnia dobowo temperatura zewnętrzna utrzymywała się w tych miesiącach przez 41 dni poniżej 0°C). Od końca stycznia do połowy lutego pompa ciepła nie pracowała ze względu na bardzo niskie temperatury zewnętrzne (przez 18 dni średnia dobowo temperatura zewnętrzna wynosiła poniżej -10°C). W październiku, listopadzie oraz kwietniu wraz ze wzrostem temperatur zewnętrznych powietrza uzyskano wartości średniego współczynnika COP w przedziale 1,3 ÷ 1,6.



Rys. 4. Zmiany średniej dobowej temperatury zewnętrznej w Poltawie

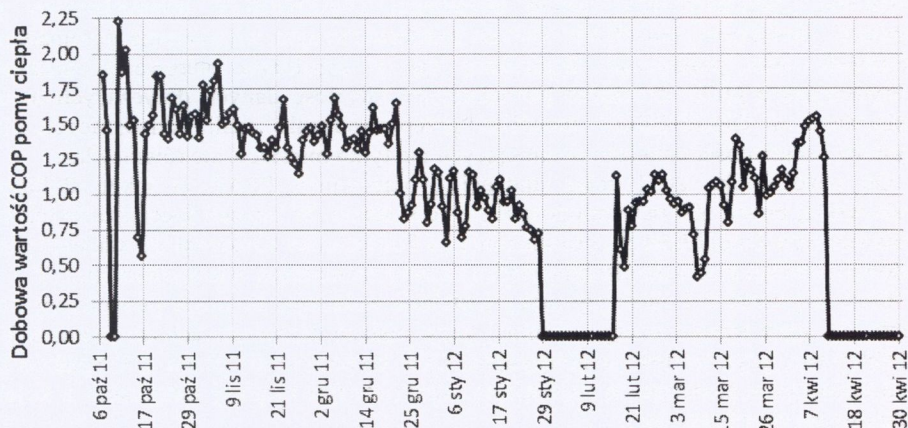
Fig. 4. Average daily changes of outdoor temperature in Poltava

W okresie od listopada 2011 do marca 2012 uzysk energii cieplnej z kolektorów płaskich był zdecydowanie mniejszy w porównaniu do kolektorów rurowych. Sumarycznie 2 kolektory płaskie dostarczyły około 75% mniej energii cieplnej niż 2 kolektory rurowe. Uzysk energii cieplnej z kolektora próżniowego z U-rurkami był prawie 50% mniejszy, w stosunku do kolektora próżniowego typu heat-pipe. Razem 4 kolektory słoneczne dostarczyły do zasobników solarnych 1035 kWh energii, z czego ponad połowa pochodziła od kolektora próżniowego typu heat-pipe.

Zaawansowany system DigiENERGY pozwala na określenie ilości załączeń pomp obiegowych [6]. Ustalano, że od momentu rozpoczęcia pracy instalacji do końca kwietnia 2012 roku pompa solarna załączała się:

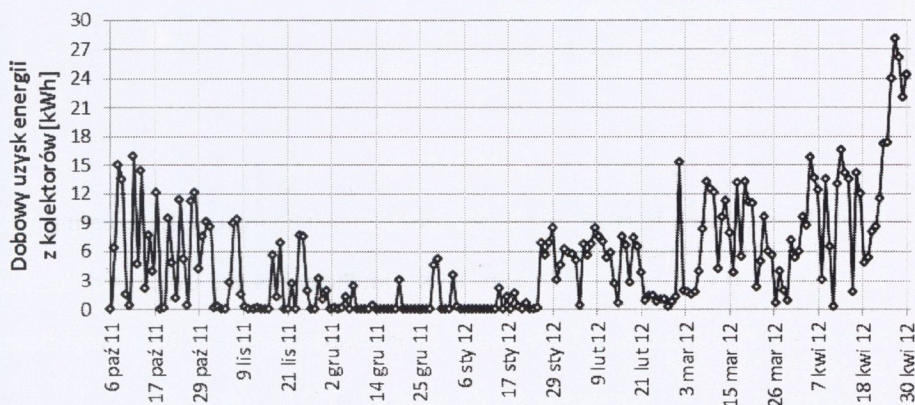
- około 5 000 razy (średnio od 10 do 35 razy dziennie) w przypadku kolektorów próżniowych typu heat-pipe,
- około 1 800 razy (średnio od 3 do 20 razy dziennie) w przypadku kolektorów próżniowych z U-rurkami.

Średnie dobowe zmiany współczynnika COP pompy ciepła przedstawione na rysunku 5 ściśle zależą od panującej temperatury zewnętrznej. Zarówno spadki dobowych wartości COP pompy ciepła między 5 i 15 listopada, 17 i 29 stycznia, 26 lutym i 11 marca, jak i wzrosty między 29 października i 4 listopadem, 21 i 26 lutym, 1 i 9 kwietnia były konsekwencją odpowiednio obniżenia się, bądź wzrostu temperatury zewnętrznej. Od 12 kwietnia, gdy dobową ilość energii cieplnej wytwarzanej przez kolektory słoneczne (rys. 6) była wystarczająca do przygotowania ciepłej wody użytkowej, pompa ciepła nie pracowała.



Rys. 5. Wykres średnich dobowych zmian COP pompy ciepła

Fig. 5. Graph of the averages daily changes of the heat pump COP



Rys. 6. Dobowy uzysk energii cieplnej z kolektorów słonecznych

Fig. 6. Daily yield of thermal energy from solar collectors

6. Podsumowanie

Wdrożone w PPAR laboratorium na odległość, które pracuje stabilnie i bezawaryjnie pozwala na jednoczesne zalogowanie się i odczytywanie w czasie rzeczywistym parametrów instalacji więcej niż jednej osobie. Użytkownicy systemu mogą znajdować się w różnych, oddalonych od siebie miejscach, a studenci otrzymują szansę na obserwację pracy instalacji nie tylko w czasie trwania zajęć na uczelni, ale również poza tymi

godzinami. Zaawansowany system sterowania DigiENERGY optymalizujący pracę instalacji dodatkowo umożliwi osobom zainteresowanym wizualizację zgromadzonych informacji oraz praktyczne zapoznanie się z aspektami sterowania instalacjami hybrydowymi z OZE. Z czasem powiększająca się ilość danych dotyczących instalacji zapisywana w DigiENERGY umożliwi przeprowadzenie analiz odnoszących się do uzysków i sprawności urządzeń obejmujących nie tylko miesiące, ale również lata.

Od października 2011 roku studenci i pracownicy PPAR, a także Politechniki Krakowskiej ponad 600 razy zalogowali się do systemu. W ramach specjalizacji Inżynieria Odnawialnych Źródeł Energii, prowadzonej na Politechnice Krakowskiej, studenci poznają budowę instalacji oraz samodzielnie śledzą zmiany zachodzące w laboratorium.

Dane uzyskane z 7 miesięcy pracy instalacji wskazują, że praca powietrznej pompy ciepła do wytwarzania energii cieplnej przy niskich temperaturach zewnętrznych jest nieefektywna, gdyż wartość współczynnika COP wynosi wtedy około 1,0. Spośród badanych kolektorów słonecznych największe uzyski energii cieplnej otrzymano z kolektora próżniowego typu heat-pipe.

Oznaczenia

COP	–	Coefficient Of Performance
OZE	–	Odnawialne Źródła Energii
PC	–	Pompa Ciepła
PPAR	–	Połtawska Państwowa Akademia Rolnicza

Literatura

- [1] Tan K. K., Lee T. H., Leu F. M.: *International Journal of Engineering Education*, 16, (2000), 273-282.
- [2] Rojko A., Hercog D., Jezernik K.: *Mathematics and Computers in Simulation* 82, (2011), 508-516.
- [3] Sládeka P., Paweraa L., Válek J.: *Procedia Social and Behavioral Sciences* 12, (2011), 164-167.
- [4] Fabregas E. i in.: *Computers & Education* 57, (2011), 1686-1697.
- [5] Sánchez J., Dormido S., Esquembre F.: *Computer Applications Engineering Education*, 13, (2005), 84-98.
- [6] Knapczyk P., Neupauer K., Turoń M.: *GLOBEnergia*, 6, (2011), 26-29.
- [7] Neupauer K., Głuszec A., Magiera J.: *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 3, (2010), 87-88.