

*Andrzej Chochowski, Dariusz Czekalski*  
*Katedra Podstaw Inżynierii*  
*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

## **BADANIA EKSPLOATACYJNE HYBRYDOWEGO SYSTEMU ZASILANIA ENERGIĄ Z WYKORZYSTANIEM UKŁADU ARCHIWIZACJI, TRANSMISJI I PRZETWARZANIA DANYCH**

### **Streszczenie**

Zespół Zakładu Elektrotechniki i Automatyki SGGW wdrożył system odnawialnych źródeł energii w Regionalnym Centrum Edukacji Ekologicznej w Budach Grabskich k. Skierniewic. Działanie systemu opiera się na współpracy instalacji słonecznej z wymiennikiem gruntowym i pompą ciepła. Stanowisko monitoringu pozwala na pozyskiwanie i archiwizację danych pochodzących z 76 punktów pomiarowych. Do obsługi analogowo-cyfrowych kart pomiarowych wykorzystywane jest oprogramowanie fabryczne z modyfikacjami autorów. Zapisywane na twardym dysku dobowe pliki tekstowe są codziennie wysyłane z wykorzystaniem łącz telekomunikacyjnych do siedziby Zakładu w Warszawie. Konwersja plików do formatu EXCEL może odbywać się automatycznie z wykorzystaniem programu napisanego w języku Visual Basic.

**Słowa kluczowe:** odnawialne źródła energii, system hybrydowy, pomiary, karty analogowo-cyfrowe, przesyłanie danych, obróbka danych

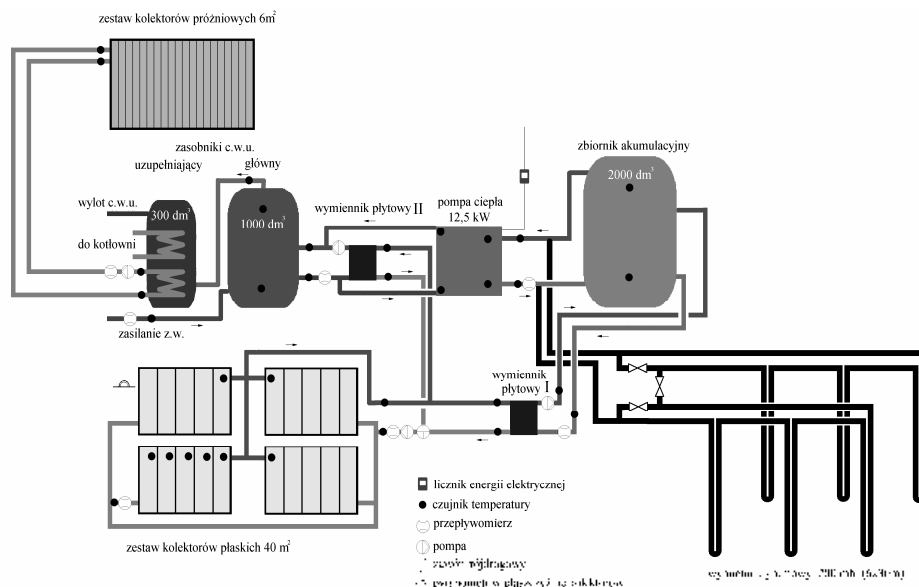
### **Wstęp**

Jedną z metod poprawy stanu środowiska naturalnego jest zastępowanie tradycyjnych technik grzewczych systemami pozyskującymi energię cieplną ze źródeł odnawialnych. Rozwój energetyki odnawialnej jest kojarzony z terenami wiejskimi, w rozumieniu terenów słabo zurbanizowanych. Wynika to chociażby z faktu, że źródła odnawialne (z wyjątkiem głębokich źródeł geotermicznych) w porównaniu z paliwami kopalnymi charakteryzują się małą koncentracją masową i powierzchnią. Wykorzystanie źródeł odnawialnych obejmuje m. in. instalacje z pompami ciepła, instalacje słoneczne i coraz częściej systemy hybrydowe. W systemach takich energia pozyskiwana jest z kilku źródeł wzajemnie się uzupełniających, wliczając w to źródła tradycyjne. Koncepcja projektowania systemów hybrydowych wynika z faktu, że większość źródeł odnawialnych charakteryzuje się zmiennością

zasobów energii w ciągu roku, dekady, a nawet godziny. Doświadczenia krajowe w eksploatacji takich systemów są niewielkie. Do weryfikacji modeli funkcjonowania sekcji i segmentów systemu, jak też jego całości, czy też do potwierdzenia słuszności założeń projektowych konieczna jest informacja o uzyskiwanych podczas eksploatacji parametrach i to w możliwie szerokim zakresie. Niezbędny jest zatem układ pomiarowy obejmujący: przetworniki wielkości nieelektrycznych na sygnały elektryczne, przewody transmisyjne, karty pomiarowe do współpracy z jednostką rejestrująco-archiwizującą oraz oprogramowanie do przetwarzania danych surowych. Stąd do rzadkości należą kompleksowe badania systemów hybrydowych eksploatowanych w rzeczywistych obiektach.

### **Hybrydowy system pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych – stanowisko badawcze Katedry Podstaw Inżynierii**

Katedra Podstaw Inżynierii w latach 1998–2001 wdrożyła hybrydowy system pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, którego funkcją jest przygotowanie ciepłej wody użytkowej dla budynków Regionalnego Centrum Edukacji Ekologicznej [Chochowski i in. 2001]. System przedstawiony schematycznie na rysunku 1 bazuje na współpracy instalacji słonecznej z wymiennikiem gruntowym oraz sprężarkową pompą ciepła. Główny składnik systemu stanowi sekcja 20-tu cieczowych płaskich kolektorów słonecznych o łącznej powierzchni 40 m<sup>2</sup>. Podstawową funkcją instalacji słonecznej jest dostarczanie energii cieplnej do zbiornika o objętości 2000 dm<sup>3</sup>, który stanowi magazyn energii dla pompy ciepła. Wymiana ciepła ze zbiornikiem odbywa za pośrednictwem wymiennika płytowego. W wiodącym trybie pracy systemu podgrzewanie wody realizuje sprężarkowa pompa o nominalnej mocy grzewczej 12,5 kW. Ciepła woda gromadzona jest w zbiorniku o objętości 1000 dm<sup>3</sup>. W systemie przewidziano dwa rezerwowe stany pracy. W pierwszym po przekroczeniu granicznej temperatury w magazynie energii instalacja słoneczna może bezpośrednio podgrzewać wodę użytkową (z pominięciem pompy ciepła). Za przełączenia zaworów i pomp obiegowych odpowiada sterownik PLC. W drugim rezerwowym stanie pracy po spadku temperatury w magazynie poniżej określonego minimum pompa ciepła wykorzystuje jako źródło wymiennik gruntowy. Pionowy wymiennik gruntowy wykonano z rur polietylenowych i umieszczono w 6 odwiertach o głębokości 30 m każdy. Ponieważ w podstawowym trybie pracy systemu nie mogą być osiągnięte temperatury wyższe od 50°C, system został uzupełniony o sekcję kolektorów próżniowych tubowych złożoną z 60 egzemplarzy o łącznej powierzchni 6 m<sup>2</sup>. Czynnik z jednostki absorbującej kierowany jest do wymiennika węzownicowego umieszczonego w uzupełniającym zasobniku o pojemności 300 dm<sup>3</sup>. Zasobnik ten może stanowić także zbiornik dogrzewu szczytowego z obiegu kotłowni olejowej.



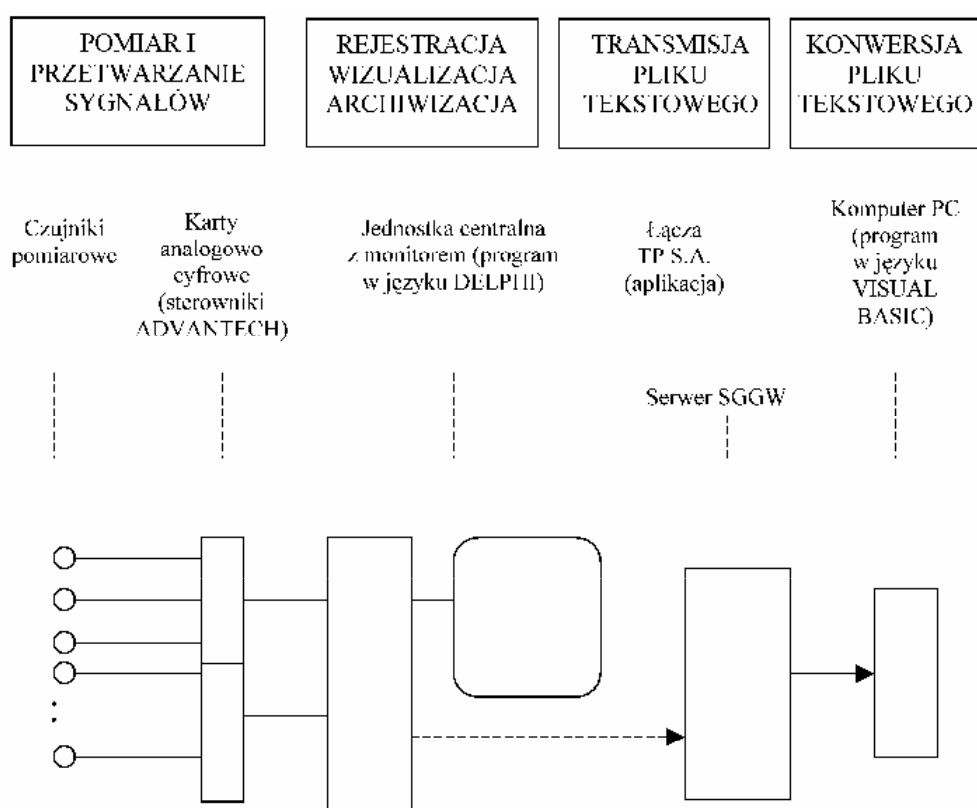
Rys. 1. Schemat systemu hybrydowego odnawialnych źródeł energii z rozmieszczeniem punktów pomiarowych

Fig. 1. Diagram of the hybrid renewable system of energy sources with the layout of the measuring points

Hybrydowy system jest wyposażony w aparaturę pomiarową służącą do monitoringu jego funkcjonowania, co pozwala na kompleksowe badania eksploatacyjne o charakterze energetycznym, a także weryfikację koncepcji sterowania współpracą poszczególnych segmentów. Rozmieszczenie punktów pomiarowych umożliwia wyznaczenie strumieni ciepła w tak istotnych węzłach systemu jak kolektory, wymienniki ciepła, parownik i skraplacz pompy ciepła. Do wyznaczania temperatur w ponad 40 punktach użyto półprzewodnikowych czujników temperatury. Pomiar przepływu cieczy wykonuje się za pomocą 8 zainstalowanych w rurociągach wodomierzy z impulsatorami. Jako czujniki natężenia promieniowania słonecznego zastosowano pyranometry umieszczone na konstrukcjach nośnych kolektorów. Moc czynna pobierana przez pompę ciepła mierzona jest klasycznym licznikiem energii z wyjściem impulsowym.

Rejestrację i wizualizację wszystkich sygnałów prowadzi się z wykorzystaniem oryginalnego oprogramowania napisanego w języku Delphi 5.0 przystosowanego do pracy w środowisku Windows NT2000 [Jurczuk 2001]. W komputerze zainstalowano analogowo-cyfrowe karty pomiarowe z odpowiednimi sterownikami oraz modem i kartę sieciową.

Dane ze wszystkich punktów pomiarowych rejestrowane są co minutę i zapisywane w postaci pliku tekstowego archiwizowanego co 24 godziny. Następnie plik jest wysyłany z wykorzystaniem łączy TP SA na konto na serwerze SGGW. Konwersja pliku do formatu EXCEL odbywa się z wykorzystaniem programu napisanego w języku Visual Basic umożliwiającego korektę błędów oraz automatyczne sporządzanie wykresów żądanych wielkości [Kalinowski 2003]. Schemat blokowy stosowanych narzędzi informatycznych ilustruje rysunek 2.



Rys. 2. Schemat realizacji procesu rejestracji, archiwizacji, transmisji i konwersji danych

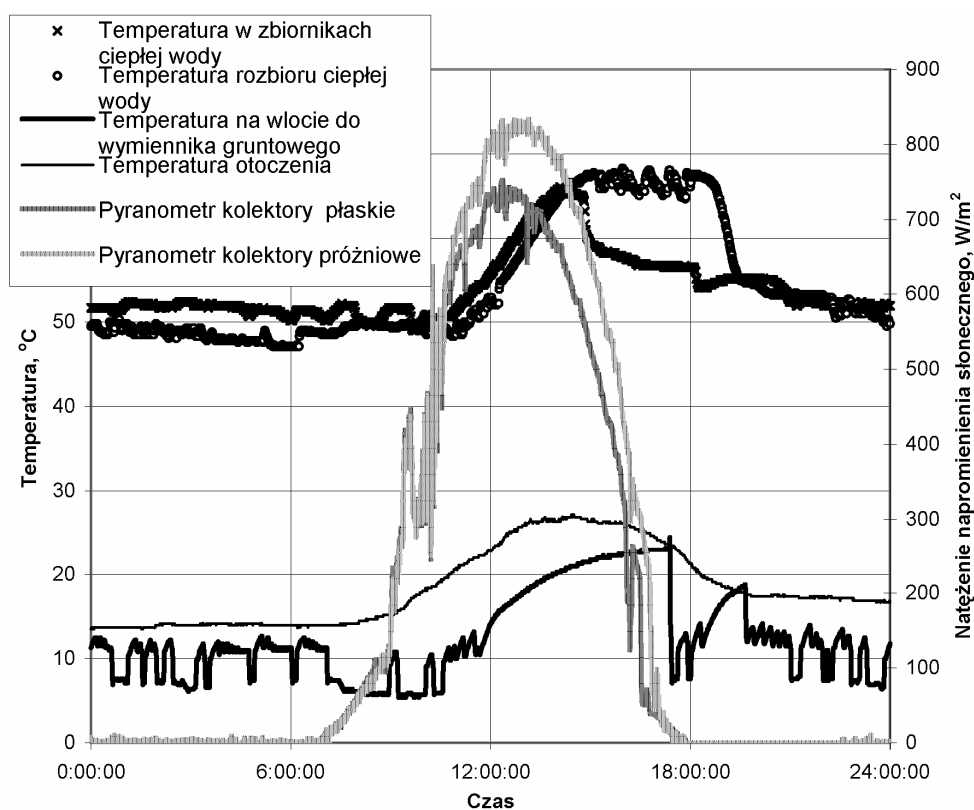
Fig. 2. Workflow diagram for recording, archiving, transmission and conversion of data

### Cel i zakres badań

Celem podstawowym badań jest wyznaczenie wydajności cieplnej odnawialnych źródeł energii dla stanów pracy przyjmowanych w systemie hybrydowym, ze szczególnym uwzględnieniem warunków eksploatacyjnych. Na przebieg realizacji tak sformułowanego celu istotny wpływ mają narzędzia informatyczne wykorzystywane w procesie pozyskiwania, rejestracji, archiwizacji, transmisji i przetwarzania danych.

### Przykład efektów procesu rejestracji, archiwizacji, transmisji i przetwarzania danych

Jako przykład metody opracowania danych stanowiących plik dobowy przysyłany na serwer uczelni i następnie konwertowany do formatu EXCEL wybrano dane z dnia 05.10.2004 roku. Na rysunku 3 pokazano przebieg wybranych danych surowych zaczerpniętych z tzw. arkusza analogowego.

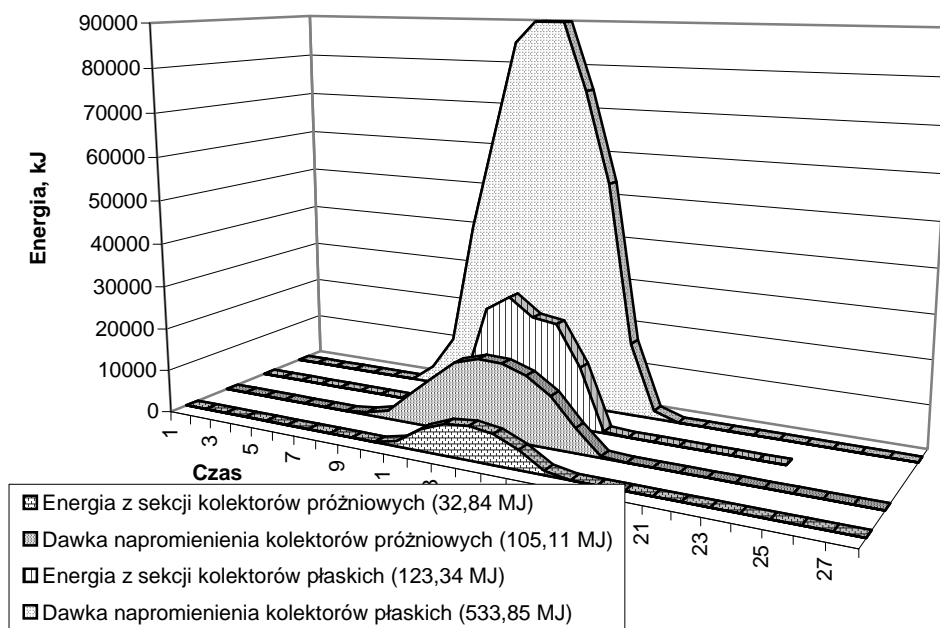


Rys. 3. Wykres wybranych danych surowych z dnia 05.10.2004

Fig. 3. Selected raw data chart as at 5th October, 2004

Z wykresów można odczytać, że dzień ten charakteryzował się wysokim dla tego okresu natężeniem napromienienia słonecznego (suma dobową 4,87 kWh/m<sup>2</sup> na płaszczyźnie kolektorów próżniowych oraz 4,25 kWh/m<sup>2</sup> na płaszczyźnie kolektorów płaskich). Temperatura w zbiornikach ciepłej wody utrzymywała się do godziny 10.30 na poziomie 51°C przy aktywnym udziale pompy ciepła w procesie grzewczym (o czym świadczy przebieg temperatury na wlocie do wymiennika gruntowego). Następnie po uruchomieniu sekcji kolektorów słonecznych temperatura w zbiornikach wzrastała stopniowo osiągając maksymalnie 67°C ok. godziny 14.45. Intensywny rozbiór ciepłej wody pomiędzy 14.00 a 15.30 wywołał stopniowy spadek temperatury w dolnej części zbiornika tak, że od godziny 21.00 konieczny był cykl dogrzewu przez pompę ciepła.

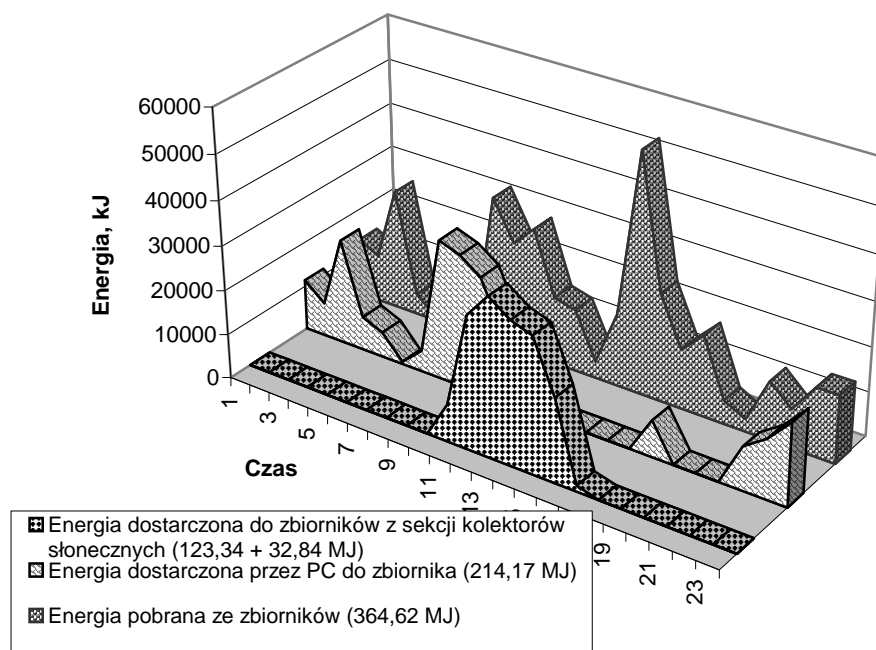
Na kolejnych dwóch rysunkach przedstawiono godzinowe sumy strumieni energii obliczone na podstawie danych zawartych w arkuszu analogowym oraz cyfrowym. Rysunek 4 ilustruje przebieg pracy sekcji kolektorów słonecznych.



Rys. 4. Przebieg konwersji energii słonecznej w sekcjach kolektorów dnia 05.10.2004

Fig. 4. Process of solar energy conversion in collector sections on 5th October, 2004

Na kolektory płaskie padło łącznie blisko 534 MJ energii słonecznej, z czego do zbiornika zostało wyemitowane 123,3 MJ, a zatem sprawność konwersji sekcji wyniosła 23,1%. Moc szczytowa energii przekazywanej do zbiornika sięgała 9,5 kW. Na kolektory próżniowe tubowe padło łącznie 105,1 MJ energii słonecznej, z czego do zbiornika zostało wyemitowane 32,8 MJ stąd sprawność konwersji tej 31,2%. Moc szczytowa w tym przypadku sięgała 2,2 kW. Rysunek 5 pokazuje zbiorczo przebieg gromadzenia energii w zbiornikach oraz jej odbioru podczas rozbioru ciepłej wody. Nocny szczyt obciążenia przedłużony z dnia poprzedniego do godziny 3.00 oraz szczyt poranny trwający od 7.00 do 10.30 zmusiły pompę ciepła do intensywnej pracy do godziny 10.45. W dalszej części dnia funkcje grzewcze przejęły sekcje kolektorów słonecznych, a po popołudniowym szczycie obciążenia trwającym od 14.00 do 17.20, kiedy to energia pobierana była ze zbiorników nawet z mocą przekraczającą 15 kW, ponownie konieczna była praca pompy ciepła. Sekcje kolektorów słonecznych oraz pompa ciepła dostarczyły tego dnia do zbiorników odpowiednio 156,2 MJ i 217,2 MJ energii. Ze zbiorników pobrano łącznie 364,6 MJ, a zatem straty cyrkulacji stosowanej w instalacji ciepłej wody były niewielkie.



Rys. 5. Strumienie energii cieplnej pozyskiwanej w systemie i odbieranej dnia 05.10.2005

Fig. 5. Fluxes of thermal energy gained in the system and collected on 5th October, 2005

## Podsumowanie

Opracowanie danych pomiarowych według zaprezentowanej technologii informacyjnej obejmujące szereg dni o zmiennych warunkach eksploatacji hybrydowego systemu odnawialnych źródeł energii pozwoliło określić parametry energetyczne poszczególnych sekcji i jego całości:

1. Pompa ciepła w warunkach podgrzewania wody do 50°C osiąga w cyklu dobowym współczynnik wydajności na poziomie 2,6÷2,9 gdy źródłem energii jest grunt oraz na poziomie 3,0÷3,3 gdy źródłem energii jest zbiornik akumulator zasilany z instalacji słonecznej.
2. Sprawność konwersji energii promieniowania słonecznego w sekcji kolektorów płaskich w cyklu dziennym osiąga wartość 33÷42% przy współpracy ze zbiornikiem niskotemperaturowym oraz 22÷33% przy współpracy ze zbiornikiem wysokotemperaturowym.
3. Sprawność konwersji energii promieniowania słonecznego w sekcji kolektorów tubowych próżniowych w cyklu dziennym osiąga wartość 28÷42% (przy współpracy ze zbiornikiem wysokotemperaturowym). Stopień użytecznego wykorzystania strumieni energii ze źródeł odnawialnych zakumulowanych w zbiornikach ciepłej wody przekracza 90% przy obciążeniu systemu rozbiorem przekraczającym 2000 dm<sup>3</sup>; natomiast spada nawet do 50% przy obciążeniu poniżej 600 dm<sup>3</sup>.

## Bibliografia

Chochowski A., Czekalski D., Wójcicka – Migasiuk D., Siuta – Olcha A., Mirski T., Maciejuk D. 2001. Diagnostyka urządzeń i systemów niekonwencjonalnego zasilania energią. Sprawozdanie końcowe projektu KBN nr 7 T07B 074 14. Warszawa SGGW, s. 56-66.

Jurczuk M. 2001. Oprogramowanie zintegrowanego systemu pozyskiwania energii odnawialnej. Praca magisterska. Warszawa SGGW.

Kalinowski M. 2003. Przetwarzanie i archiwizacja danych pomiarowych z monitoringu pracy systemu zasilania energią niekonwencjonalną. Praca magisterska. Płock Politechnika Warszawska.



**OPERATIONAL TESTS OF HYBRID ELECTRIC POWER SUPPLY  
SYSTEM USING BACKUP, TRANSMISSION  
AND DATA PROCESSING SYSTEM**

**Summary**

The team of the Electrical Engineering and Automation Division SGGW have implemented a renewable energy hybrid system in Regional Centre for Ecological Education, Budy Grabskie n. Skierniewice. This system is based on the cooperation of a solar system, a ground exchanger and a heat pump. A monitoring station enable for full monitoring and data processing from 76 measuring points in the whole system. The analogue – digital cards are managed by software delivered by manufacturers and improved and modified by authors. 24 hours text files are transferred every day by telecommunication links to Warsaw seat of Division. The files can be automatically converted to EXCEL format and automatically worked up.

**Key words:** renewable energy sources, hybrid system, measurement, analogue–digital card, data transfer, data conversion