

TOMASZ NABAGŁO, PAWEŁ BRANDYS*

KONCEPCJA STEROWANIA CYFROWEGO NADAŻNEGO UKŁADU KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

CONCEPT OF DIGITAL SERVO CONTROL SYSTEM OF SOLAR COLLECTORS

Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję scentralizowanego układu sterowania podsystemami inteligentnego budynku na przykładzie systemu sterowania układem z kolektorami solarnymi, w którym użyto mikrokontrolera ATmega88. Podstawą zaproponowanego rozwiązania jest zmiana położenia poziomego i pionowego kolektorów względem Słońca. Mikrokontroler wykorzystano również do sterowania parametrami układu związanymi na przykład z dostarczaniem energii cieplnej do wielu odbiorników zgodnie z zaprogramowanym priorytetem. Zmiana parametrów sterowania odbywa się przez sieć Ethernet przy komunikacji między komputerem centralnym a układem sterującym.

Słowa kluczowe: sterowanie, inteligentny budynek, panele solarne

Abstract

In the paper, the authors describe topic connected with centralized building control system in example of solar collectors control system with ATmega88 microcontroller. Changing of theirs vertical and horizontal position is the conception basis. Microcontroller is used also for controlling of other parameters of solar collector system. Those parameters are connected e.g. with conducting heat to many receivers according to desired priorities. Modification of control parameters is conducted through Ethernet. This communication is between main computer unit and the solar collectors control system.

Keywords: control system, building management system, solar collector

* Dr inż. Tomasz Nabagło, dr inż. Paweł Brandys, Instytut Informatyki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

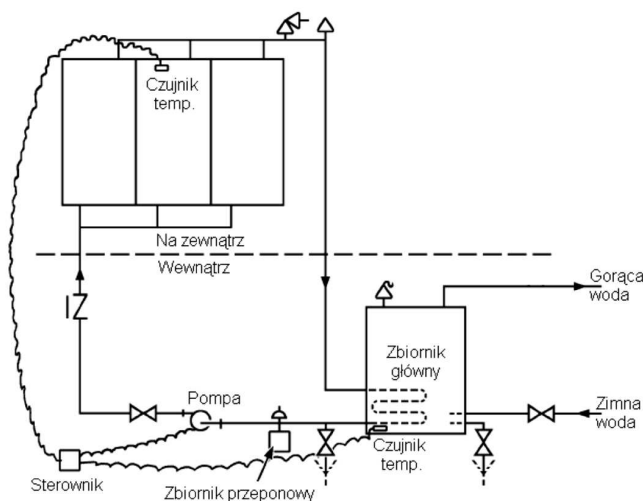
1. Wstęp

Przez pojęcie inteligentnego budynku rozumiemy technicznie zaawansowany budynek, który wyposażony jest w zintegrowany system zarządzania znajdującymi się w nim instalacjami. W ramach zintegrowanego systemu występują podsystemy, takie jak na przykład sterowania oświetleniem, ogrzewaniem, system antywłamaniowy i kontroli dostępu i inne. W artykułach [1, 2] autorzy przedstawili podstawowe założenia systemów inteligentnego budynku, opierając się na rozwiązaniach znanych w literaturze. Smith [3] natomiast omówił szczegółowe rozwiązania w komunikacji w systemach inteligentnego budynku.

W niniejszym artykule zostanie przedstawiony system sterowania zespołem kolektorów słonecznych, będący jednym z podsystemów inteligentnego budynku. Istnieje bardzo dużo opracowań na temat pozyskiwania energii cieplnej z wykorzystaniem kolektorów słonecznych. Szczególnie ważne jest zagadnienie optymalnego wykorzystania energii słonecznej. Zagadnieniem tym zajęli się autorzy artykułów [4, 5], w których przeanalizowali wiele rozwiązań kolektorów słonecznych pod kątem ich sprawności. Na sprawność kolektora wpływa między innymi współczynnik strat ciepła oraz poziom energii uzyskanej z paneli różnego typu. Wyniki badań doświadczalnych przedstawiono na stronie internetowej [6], gdzie porównano wartości uzyskanej energii na przestrzeni jednego roku dla różnych rozwiązań kolektorów słonecznych. Przebiegi te wyraźnie wskazują na zalety układów kolektorów z systemem pozycjonowania w stosunku do układów z kolektorami nieruchomymi. Rozwiązania z pozycjonowaniem są znane i produkowane [7]. Autorzy niniejszego artykułu przedstawiają rozwiązanie pozycjonowania kolektora słonecznego zrealizowanego na układzie mikrokontrolera wraz z jego oprogramowaniem. W kolejnych rozdziałach omówiona będzie koncepcja układu śledzącego pozycję Słońca na podstawie opracowanego przez autorów optycznego czujnika natężenia światła, układ sterowania pozycjonowania kolektorów słonecznych oraz układ sterowania przepływem energii cieplnej do odbiorników. Na zakończenie zaprezentowano sprzętową i programową implementację systemu z zastosowaniem komunikacji po sieci Ethernet.

2. Układy ogrzewania wody z kolektorami słonecznymi

W literaturze przedstawiającej układy z kolektorami słonecznymi [8, 9] opisano różne sposoby gromadzenia energii cieplnej oraz sposoby jej przesyłania do mediów docelowych w odbiornikach, jakimi są woda lub powietrze. Do przetwarzania energii słonecznej na ciepłą służą różne rodzaje kolektorów, tj. kolektory płaskie, kolektory próżniowe, kolektory zwierciadlane, kolektory przepływowe z tworzyw EPDM (Etylo-Propylenowe-Dienowe-Monomery) oraz płyty perforowane do nagrzewania powietrza. W kwestii przesyłu energii cieplnej znane są różne rozwiązania techniczne. Pierwsze z nich wykorzystuje zjawisko konwekcji nagrzanej cieczy. W tym rozwiązaniu zbiornik nagrzewanej cieczy powinien być umieszczony powyżej kolektora słonecznego. Drugim rozwiązaniem jest wymuszenie obiegu wody użytkowej pomiędzy kolektorami a zbiornikiem. Obydwa rozwiązania, zwane systemem bezpośrednim, są charakterystyczne dla kolektorów przepływowych, w których woda użytkowa nagrzewana jest bezpośrednio w takim kolektorze. Trzecim znanym rozwiązaniem jest zastosowanie zamkniętego obiegu cieczy, najczęściej glikolu, która oddaje ciepło przez układ wymiennika do medium docelowego.



Rys. 1. Schemat pośredniego systemu solarnego [8]

Fig. 1. Indirect solar panels system diagram[8]

Taki system nazywamy systemem pośrednim. Możliwe jest również zastosowanie kaskadowego systemu wymiany ciepła na przykład przez zamknięty obieg cieczy w kolektorze, następnie kolejny zamknięty obieg cieczy transportującej energię cieplną do docelowego układu wymiany ciepła, gdzie dopiero energia przekazywana jest na przykład do wody użytkowej. Z punktu widzenia zadań sterowania położeniem kolektora względem Słońca, najbardziej interesujące są rozwiązania z kolektorami płaskimi, próżniowymi i zwierciadlanymi z wymianą ciepła w systemie pośrednim (rys. 1). Są one interesujące ze względu na możliwość łatwej zmiany ich pozycji.

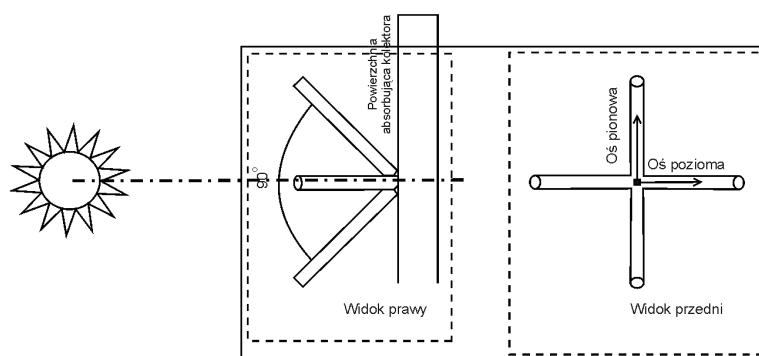
3. Koncepcja układu śledzenia Słońca i pozycjonowania kolektorów

Aby odebrać jak najwięcej energii słonecznej w kolektorze, należy zadbać o prawidłową pozycję kolektora względem Słońca. Odbieranie maksymalnej możliwej ilości energii słonecznej jest zapewnione wtedy, gdy powierzchnia absorbująca płyty kolektora jest ustawiona pod kątem prostym do kierunku padających promieni słonecznych. Można zatem zaprojektować układ, który będzie sterował pozycją kolektorów w funkcji natężenia oświetlenia. Można to zrealizować na kilka sposobów. Jednym z nich jest zastosowanie tabeli pozycji Słońca w zależności od pory dnia i roku. Takie rozwiązanie wymaga jednakże precyzyjnego początkowego ustawienia pozycji kolektorów, zastosowania zegara czasu rzeczywistego, jak również tabel pozycji Słońca. Niestety zastosowanie takiego rozwiązania powoduje niepotrzebne zużycie energii na pozycjonowanie kolektorów, które nie jest potrzebne przy dużym zachmurzeniu. Drugim rozwiązaniem jest pozycjonowanie kolektorów w funkcji natężenia światła słonecznego mierzonego z użyciem czujników optycznych [10]. Układ ten ma na celu ustawianie powierzchni absorbującej kolektorów słonecznych prostopadle do kierunku promieniowania najsilniejszego źródła światła, co w przypadku słonecznego dnia nie stanowi problemu. Podczas dużego zachmurzenia, gdy

ustawianie kolektorów w kierunku Słońca nie jest istotne, narzucona przez programistę nieczułość układu zapewnia, że układ rozpocznie pozycjonowanie jedynie w wyniku wykrycia dużej różnicy natężenia światła padającego z dwu prostopadłych do siebie kierunków. Szczegóły powyższego rozwiązania są opisane w tym rozdziale.

4. Optyczny czujnik różnicy natężenia światła

Aby precyzyjnie sterować pozycją kolektora słonecznego, należy zebrać potrzebne dane do przetwarzania przez jednostkę sterującą. Autorzy zaproponowali tutaj bardzo ekonomiczne rozwiązanie, jakim jest zastosowanie czujnika różnicy natężenia światła. Pomiar natężenia światła pozwala układowi sterowania na korektę położenia kolektora. Zmiana położenia kolektora może odbywać się zarówno w osi poziomej, jak i pionowej, co pozwala na prostopadłe ustawienie jego powierzchni absorbującej do kierunku najsilniejszego źródła światła, którym w ciągu dnia jest Słońce.



Rys. 2. Optyczny czujnik różnicy natężenia światła – rysunek poglądowy
Fig. 2. Optical sensor of light intensity – design drawing

Optyczny czujnik różnicy natężenia światła zbudowany jest z czterech fotorezystorów zabudowanych w rurkach, które odchylone są od płaszczyzny kolektora o 45° , co pokazano na rysunku 2. Zabudowanie fotorezystorów wewnątrz rurek ma na celu realizację pomiaru wyłącznie natężenia światła padającego z kierunku równoległego do rurki. Fotorezystory są ze sobą sparowane do pracy w osi pionowej i poziomej (rys. 2). Sterowanie pozycją kolektora w funkcji różnicy natężenia światła realizowane jest do momentu, gdy różnica wskazań sparowanych fotorezystorów jest bliska lub równa zero. Proces sterowania realizowany jest dla obydwu osi. Optyczny czujnik różnicy natężenia światła musi być zamocowany w taki sposób, aby zawsze znajdował się w płaszczyźnie kolektora niezależnie od ruchu kolektora (patrz rys. 2). Sterowanie położeniem ma na celu uzyskanie położenia kolektora prostopadłe do kierunku padania promieni słonecznych.

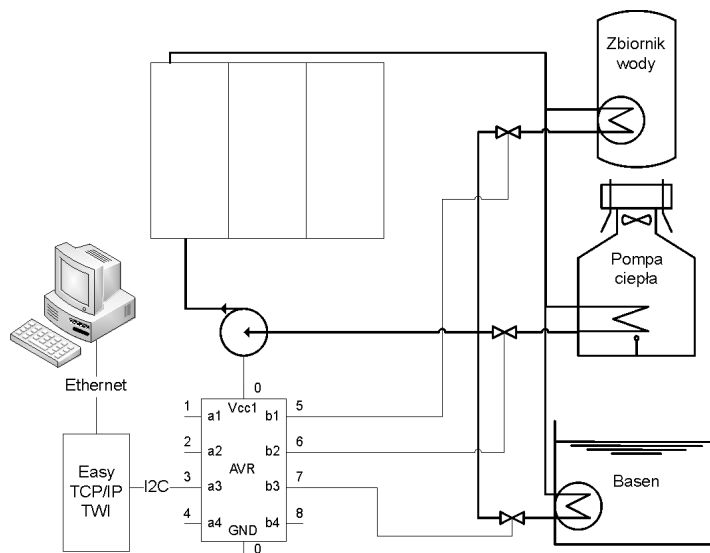
5. Układ sterowania zmianą położenia kolektora

Układ sterowania położeniem kolektorów dąży do zrównoważenia wartości na odpowiednich parach czujników. Niezrównoważenie wskazań czujników ustawionych w osi

pionowej powoduje korektę położenia kolektorów w tejże osi, natomiast nierównoważenie wskazań czujników w osi poziomej powoduje korektę położenia kolektorów w osi poziomej (patrz rys. 2). Układ celowo posiada pewną nieczułość, aby korekty nie następowały w wyniku drobnych fluktuacji natężenia oświetlenia, a jedynie w wyniku wyraźnych jego zmian. Takie drobne fluktuacje mogą występować przy zachmurzonym niebie, gdy precyzyjne nastawianie kolektorów w kierunku Słońca jest niepotrzebne, a powoduje pobór energii do napędu układu zmiany położenia. W momencie gdy zostanie wykryta zmiana różnicy natężenia oświetlenia, powyżej zadanego progu nieczułości, następuje zainicjowanie pracy układu. Dodatkowo wzrasta wrażliwość układu, aby zwiększyć precyzję pozycjonowania kolektorów. Po uzyskaniu zadanego położenia wrażliwość układu wraca do pierwotnego poziomu progu nieczułości.

6. Układ sterowania przepływem energii cieplnej do odbiorników

Uzyskując energię cieplną z kolektorów słonecznych, można ją doprowadzić do odbiorników takich jak np. zasobniki wody użytkowej, pompy ciepła lub baseny pływackie. W układach, w których nośnikiem energii cieplnej jest ciecz, do sterowania przepływu cieczy trzeba zastosować zawory hydrauliczne sterowane z wyjść cyfrowych mikrokontrolera. Na rysunku 1 przedstawiono standardowe rozwiązanie układu podgrzewania ciepłej wody użytkowej przez pośredni system solarny. Proponowany w artykule układ sterowania umożliwia odcięcie dopływu cieczy grzewczej doprowadzającej energię cieplną do zbiornika z wodą użytkową w sytuacji osiągnięcia zadanej temperatury. Odcięcie to odbywa się poprzez zamknięcie zaworu sterowanego. Po zamknięciu zaworu czynniki robocze kierowany jest do innego odbiornika za pomocą drugiego z zaworów (rys. 3).



Rys. 3. Układ kierowania energią cieplną
Fig. 3. Energy distribution system

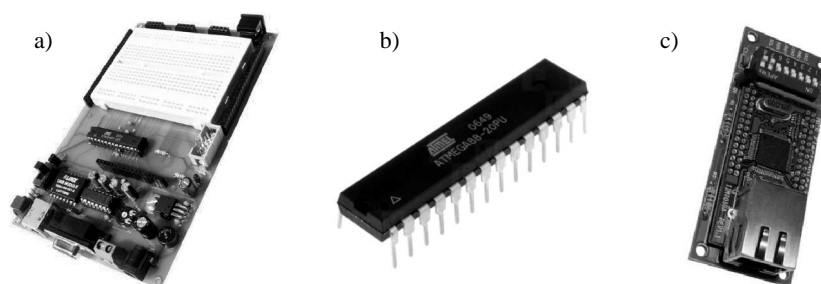
7. Zintegrowany układ sterowania na bazie mikrokontrolera AVR

Do realizacji zadań z zakresu sterowania analogowo-cyfrowego bardzo często wykorzystuje się układy z mikrokontrolerami firmy Atmel z rodziny AVR [11] programowane w języku Bascom-Basic [12]. Jak wynika z poprzednich rozdziałów, w zaproponowanym układzie kolektorów słonecznych sterowaniu podlega pompa, układ pozycjonowania kolektorów w osi pionowej i poziomej oraz zawory sterujące przepływem czynnika do poszczególnych odbiorników. Obsługa optycznego czujnika różnicy natężenia światła odbywać się będzie na czterech wejściach analogowych mikrokontrolera, natomiast do pomiaru temperatur zastosować można przetworniki cyfrowe obsługiwane na wejściach cyfrowych. W przypadku układu z jednym odbiornikiem, na przykład w postaci zasobnika z wodą, będą to dwa punkty pomiaru temperatury (patrz rys. 1). W przypadku większej liczby odbiorników konieczne jest zastosowanie dodatkowych punktów dla każdego odbiornika. Ze względu na ograniczoną liczbę wejść cyfrowych mikrokontrolera do pomiaru temperatury najlepiej zastosować przetworniki komunikujące się z mikrokontrolerem z użyciem protokołu 1-wire. Zarówno załączanie pompy, jak i zaworów odbywać się będzie poprzez sterowanie z użyciem wyjść cyfrowych mikrokontrolera. Aby zapewnić kontrolę zdarzeń w układzie sterowania systemem kolektorów słonecznych, można wykorzystać nielotną pamięć EEPROM. Zapisywane w niej będą stany przekroczeń dopuszczalnych wartości takich jak na przykład temperatura glikolu w kolektorze. Stany te mogą być następnie przeglądane za pomocą interfejsu użytkownika. Przy zastosowaniu takiej strategii przydziału zasobów mikrokontrolera wystarczający do spełnienia założonych wymagań jest mikrokontroler AVR ATmega88.

Na podstawie opracowanej i przedstawionej we wcześniejszych rozdziałach koncepcji układu sterowania kolektorami słonecznymi przystąpiono do jego implementacji w laboratorium testowym. Do tego celu zastosowano mikrokontroler AVR ATmega88, do komunikacji z którym wykorzystano tzw. zestaw uruchomieniowy EDB (Educational Development Board), w którym zainstalowano mikrokontroler. Zestaw ten został przedstawiony na rysunku 4a i 4b. Wykorzystanie takiego zestawu pozwala na realizację prostych układów elektronicznych z mikrokontrolerem oraz programowanie, nadzorowanie i ewentualne korekty nastaw z poziomu komputera lub panelu operatorskiego. Zrealizowano proponowane zadania sterowania i przeprowadzono testy symulacyjne, które potwierdziły przydatność mikrokontrolera AVR do realizacji postawionego problemu. W artykule autorzy proponują dalszą realizację dedykowanego układu sterowania kolektorów słonecznych z wykorzystaniem pojedynczego mikrokontrolera ATmega88 i modułu adaptera Easy TCP/IP TWI (rys. 4c), który umożliwi komunikację z wykorzystaniem sieci Ethernet/IP pomiędzy mikrokontrolerem a centralnym komputerem obsługującym wszystkie podsystemy inteligentnego budynku [13].

Zarówno mikrokontroler, adapter Easy TCP/IP TWI, jak i pomocniczy układ elektroniczny zostały zintegrowane na dedykowanej płytce drukowanej. Płytkę tę po zastosowaniu elementu obniżającego napięcie wejściowe do napięcia 5 V mogła zostać zasilona stałym napięciem o wysokości 12 V. Przed zamontowaniem mikrokontrolera na przygotowanej płytce drukowanej należało go zaprogramować. Do zaprogramowania mikrokontrolera został użyty programator STK500 łączący się z kością mikrokontrolera za pomocą interfejsu ISP. Na płytce drukowanej udostępniono porty wykorzystywane do sterowania odpowiednich podsystemów kierunkowania paneli solarnych, sterowania zaworami i pompą, jak również zbierania informacji o temperaturze i natężeniu światła

w optycznym czujniku różnicy natężenia światła (patrz rozdz. 4). Zastosowanie dedykowanego układu zwiększyło miniaturyzację modułu sterowania układem kolektorów. Dodatkowym koniecznym elementem jest interfejs użytkownika dostępny z komputera centralnego. Na komputerze centralnym można zmieniać parametry sterowania, bądź za pomocą wyspecjalizowanego oprogramowania do obsługi i nadzoru wielu podsystemów inteligentnego budynku, bądź za pomocą aplikacji HTML. W dalszej części prac autorzy planują realizację komunikacji z użytkownikiem przez interfejs aplikacji WEB, co pozwoli na obsługę układu sterowania z poziomu przeglądarki internetowej. Wszelkie informacje wymagane przez tę aplikację przesyłane będą do komputera za pomocą sieci Ethernet/IP z wykorzystaniem adaptera Easy TCP/IP TWI. Takie rozwiązanie pozwala również na realizację oprogramowania do wizualizacji pracy układu. Dzięki temu, że zrealizowana będzie komunikacja z układem sterującym przez sieć komputerową, możliwe będzie uruchomienie oprogramowania na komputerach zdalnych, nawet znajdujących się poza siecią lokalną. W takiej sytuacji oczywiście należy pamiętać o zapewnieniu bezpiecznej komunikacji.



Rys. 4. Zestaw EDB mikrokontrolera AVR (a), mikrokontroler ATmega88 (b), adapter TCP/IP (c)

Fig. 4. EDB Starter KIT for AVR microcontrollers (a), ATmega88 (b), TCP/IP adapter (c)

8. Wnioski

Zaproponowane w artykule rozwiązanie cyfrowego sterowania nadążnego układu kolektorów słonecznych pozwala na zwiększenie sprawności układu przez podwyższenie ilości gromadzonej energii [6]. Uzyskano to dzięki opracowaniu układu automatycznego pozycjonowania kolektorów względem Słońca z wykorzystaniem czujników optycznych. Automatyzację tego procesu otrzymano przez zastosowanie cyfrowego układu z mikrokontrolerem. Układ ten ma za zadanie sterowanie położeniem kolektorów na podstawie pomiaru ich naświetlenia z uwzględnieniem zmiennego progu wrażliwości na zmianę natężenia oświetlenia. Układ ten dodatkowo realizuje zadania sterowania przepływem energii cieplnej do odbiorników na podstawie pomiarów temperatur w wymaganych punktach układu. Do realizacji tych zadań zaproponowano autonomiczny układ sterowania cyfrowego z mikrokontrolerem ATmega88 wyposażonym dodatkowo w interfejs komunikacyjny do sieci Ethernet/IP. Uzyskano moduł sterowania o niewielkich wymiarach, niskim poborze energii i możliwością dalszej rozbudowy o kolejne podprogramy sterujące. Zaproponowane umieszczenie programu sterującego układem solarnym na poziomie mikro-

kontrolera AVR zwiększa niezawodność układu sterowania w przypadku awarii sieci Ethernet bądź komputera centralnego. Podobne rozwiązanie można zastosować w innych podsystemach inteligentnego budynku, takich jak na przykład podsystem regulacji natężenia światła w pomieszczeniach w zależności od wybranej aranżacji oświetlenia.

Literatura

- [1] Wong J.K.W., Lia H., Wang S.W., *Intelligent building research: a review*, Automation in Construction, vol. 14, issue 1, January 2005, 143-159.
- [2] Arkin H., Paciuk M., *Evaluating intelligent buildings according to level of service systems integration*, Automation in Construction, Vol. 6, 1997, 471-479.
- [3] Smith S., *The integration of communications networks in the intelligent building*, Automation in Construction, Vol. 6, 1997, 511-527.
- [4] Kim J., Kwak H.Y., Lee D.W., *An analytical study on the thermal characteristics of flat-plate and evacuated solar collectors*, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 21, 2007, 2159-2167.
- [5] Andersen E., Furbo S., *Theoretical variations of the thermal performance of different solar collectors and solar combi systems as function of the varying yearly weather conditions in Denmark*, Solar Energy, Vol. 83, 2009, 552-565.
- [6] Kolektory słoneczne obrotowe, www: <http://prowis.pl>
- [7] *Obrotnica Kolektora Słonecznego*, swww: http://mirley.firlej.org/obrotnica_kolektora_slonecznego
- [8] n/a, *Solar energy use*, 2007 ASHRAE Handbook – Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications, American Society of Heating, 2007, 33.1-33.29.
- [9] Kutz M., Kreider J.F., *Solar energy applications*, Mechanical Engineers' Handbook – Energy and Power, John Wiley & Sons, 2006, 663-701.
- [10] Nabagło T., Brandys P., *Automatyczne sterowanie układami solarnymi przy użyciu mikrokontrolera z rodziny AVR*, I Ogólnopolska Konferencja „Człowiek a Środowisko”, Kraków 26–28 XI 2010.
- [11] Edwards L., *Microcontrollers, Single-Board Computers and Development Tools*, Open-Source Robotics and Process Control Cookbook-Designing and Building Robust, Dependable Real-Time Systems, Elsevier, 2005, 9-39.
- [12] Wiązania M., *Programowanie mikrokontrolerów AVR w języku Bascom*, BTC, 2004.
- [13] Sklep dla elektroników (www.psoc.pl/fileadmin/file/easy_tcpip-twi_manual.pdf).