

SYSTEMY KLIMATYZACJI BUDYNKÓW ZASILANE ENERGIĄ PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Michał TURSKI*, Robert SEKRET

Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska, Politechnika Częstochowska, ul. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa

Streszczenie: W niniejszym artykule podjęto tematykę dotyczącą systemów klimatyzacji budynków zasilanych energią promieniowania słonecznego, przetworzonego do postaci użytkowej poprzez konwersję fotowoltaiczną i konwersję fototermiczną. Przedstawiono korzyści płynące z zastosowania słonecznych systemów klimatyzacji oraz przeanalizowano możliwości ich zastosowania. Zaprezentowano przykładowy system klimatyzacji z wykorzystaniem adsorpcyjnego urządzenia chłodzącego zasilanego energią promieniowania słonecznego przetwarzanego za pomocą kolektorów słonecznych. Zaprezentowano standardową budowę adsorpcyjnej wytwornicy wody lodowej. Dodatkowo została przedstawiona sytuacja na europejskim rynku systemów klimatyzacji słonecznej.

Słowa kluczowe: promieniowanie słoneczne, klimatyzacja, odnawialne źródła energii, chłodziarki adsorpcyjne.

1. Wprowadzenie

Pozyskanie różnych postaci energii, obok produkcji żywności, stanowi jeden z podstawowych kierunków działania w gospodarce narodowej. Dostępność energii to czynnik stymulujący rozwój gospodarczy kraju. Racjonalna gospodarka energią z uwzględnieniem ochrony środowiska jest zasadniczą drogą zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego (Balaras i in., 2005).

Ciągły rozwój cywilizacji prowadzi do wzrostu zapotrzebowania na różne postacie energii, na przykład ciepło, elektryczność, jak również na chłód. W najbliższej przyszłości energetyka konwencjonalna nie będzie już w stanie pokryć rosnących potrzeb energetycznych ludzkości, głównie ze względu na ograniczone zasoby paliw konwencjonalnych oraz degradację środowiska naturalnego. Skutkuje to koniecznością racjonalizacji gospodarki energią oraz szukaniem możliwości wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii. Do tych ostatnich można zaliczyć energię odnawialną (energia słoneczna, energia geotermalna, energia oddziaływań grawitacyjnych), a także ciepło odpadowe (Balaras i in., 2005).

2. Analiza rynku

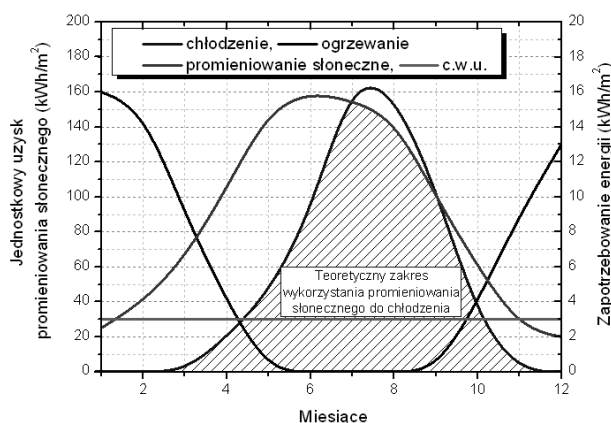
Sektor komunalno-bytowy jest jednym z głównych konsumentów energii we współczesnych gospodarkach krajów rozwiniętych. Powodem takiego stanu rzeczy jest około 50%-owy udział tego sektora w całkowitym zapotrzebowaniu na energię. Udział OZE w pozyskiwaniu ciepła i chłodu w tym sektorze wynosi obecnie około

10%. Większość energii w budynkach, w klimacie zbliżonym do klimatu występującego w naszym kraju, jest wykorzystywana na pokrycie potrzeb związanych z ogrzewaniem i wentylacją pomieszczeń (Besler i Besler, 2008; Jankowski, 2009). Dodatkowo w wyniku wdrażania innowacyjnych nisko energochłonnych technologii w sektorze budownictwa rośnie również zapotrzebowanie na chłód, a tym samym coraz większą rolę odgrywają systemy klimatyzacji małej mocy (od kilku do kilkunastu kW), jak w przypadku nowobudowanych budynków w tak zwanej technologii pasywnej. Dlatego też, wzrost efektywności użytkowania energii, zintegrowanie systemów ogrzewania i chłodzenia ze zwiększeniem udziału źródeł niekonwencjonalnych stanowi jeden z kluczowych elementów rozwoju nowych technologii dla potrzeb pokrycia potrzeb energetycznych w sektorze komunalno-bytowym oraz budynków użyteczności publicznej (Jeziorski, 2009).

Analizując warunki pracy budynków jako systemu energetycznego należy stwierdzić, że maksymalne zapotrzebowanie na chłód występuje w czasie maksymalnych zysków promieniowania słonecznego, tj. w okresie letnim. Zależność taką przedstawiono na rys. 1.

Należy w tym miejscu stwierdzić, że interesującym staje się możliwość wykorzystania tej zależności dla potrzeb klimatyzacji budynków. Ponadto, jak wskazują badania (Rubik, 2006) układy słoneczne mogą być z powodzeniem stosowane nawet w krajach o klimacie umiarkowanym.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: mturski84@op.pl



Rys. 1. Jednostkowy uzysk promieniowania słonecznego oraz zapotrzebowania na ciepło i chłód w zależności od pory roku (Kwiecień, 2009)

3. Przetwarzanie energii promieniowania słonecznego dla potrzeb chłodzenia budynków

W celu wykorzystania energii promieniowania słonecznego do procesu chłodzenia można rozważyć dwa podstawowe procesy, tj. konwersję fotowoltaiczną oraz konwersję fototermiczną.

Konwersja fotowoltaiczna polega na bezpośredniej przemianie promieniowania słonecznego w elektryczność za pośrednictwem ogniw fotowoltaicznych. Może być ona następnie wykorzystana do napędu urządzeń elektrycznych w centrali klimatyzacyjnej. Ze względu na niską sprawność ogniw fotowoltaicznych, na poziomie od 3% do 12%, oraz wysoki koszt inwestycyjny, efektywniejsze staje się zastosowanie konwersji fototermicznej (Pluta, 2007). Na korzyść konwersji fototermicznej dodatkowo przemawia fakt, że w celu realizacji tego procesu możemy wykorzystać ogólnie dostępne kolektory słoneczne. Zakres zastosowania podstawowych typów kolektorów słonecznych w poszczególnych układach chłodniczych przedstawiono na rys. 2.

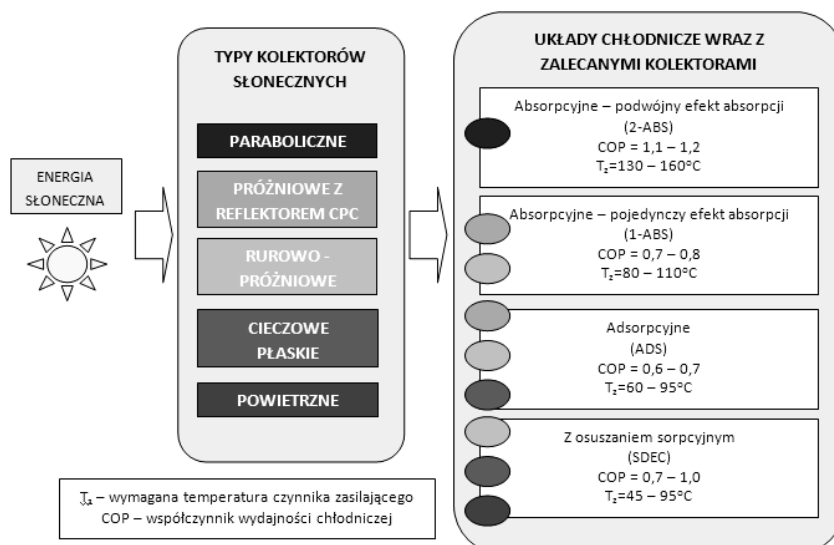
Wyróżniamy trzy podstawowe rodzaje układów, w których można przeprowadzić konwersję promieniowania słonecznego na drodze termicznej (Henning, 2007):

- układy otwarte, w których efekt chłodzenia uzyskiwany jest w wyniku zmiany wilgotności powietrza; do tej grupy można zaliczyć urządzenia z osuszaczem sorpcyjnym wykorzystujące stałe lub płynne sorbenty;
- układy termomechaniczne, w których efekt chłodzenia uzyskuje się dzięki wykorzystaniu energii mechanicznej do napędu urządzeń;
- układy zamknięte, w których efekt chłodzenia uzyskiwany jest w wyniku przemian termochemicznych w urządzeniach absorpcyjnych lub adsorpcyjnych, a także poprzez wykorzystanie promieniowania radiacyjnego w okresie nocy.

Podstawową cechą układów otwartych jest praca oparta na układzie powietrznym. Układ taki staje się szczególnie nieefektywny przy znacznych zyskach ciepła, które należy odprowadzić z budynku poprzez zwiększanie krotności wymian powietrza w pomieszczeniu. Istotną wadą układów otwartych jest możliwość ich stosowania właściwie tylko wtedy, gdy ochładzanie powietrza odbywa się w sposób centralny w jednostce centrali klimatyzacyjnej, a proces uzdatniania powietrza podporządkowany jest jego ochładzaniu. Dodatkowe ograniczenie stanowi brak możliwości uzyskania niskiej temperatury powietrza nawiewanego. Przy obliczeniowej temperaturze zewnętrznej powietrza w okresie letnim $+30^{\circ}\text{C}$ minimalna do uzyskania temperatura powietrza nawiewanego wynosi $+18^{\circ}\text{C}$ (Besler i in., 2008).

Układy termomechaniczne charakteryzują się niską sprawnością oraz wysoką awaryjnością z powodu zastosowania części mechanicznych.

Wśród układów zamkniętych popularnym rozwiązaniem są absorpcyjne zamknięte układy chłodnicze. Pomimo dość wysokiego, jak na ten typ urządzeń, COP na poziomie 1,1–1,2 (przy podwójnym efekcie absorpcji) wymagają one jednak dostarczenia czynnika zasilającego o temperaturze powyżej 130°C



Rys. 2. Zakres zastosowań typowych rozwiązań kolektorów słonecznych w poszczególnych układach chłodzenia (nazewnictwo zgodne - PN-EN ISO 9488) (Kwiecień, 2009)

(Kwiecień, 2009). Oczywiście możliwe jest zasilane temperaturą nieco niższą, rzędu 90°C (przy pojedynczym efekcie absorpcji) kosztem jednak znacznej straty efektywności energetycznej COP na poziomie 0,6-0,7. Układ taki wymaga wysokosprawnych kolektorów słonecznych, które będą wydajne jedynie przy największych zyskach promieniowania słonecznego, tj. w szczycie sezonu letniego (jedynie miesiące lipiec i sierpień). Wiąże się więc to ze znacznym skróceniem czasu wykorzystania promieniowania słonecznego dla potrzeb chłodzenia budynku.

Kompromisowym rozwiązaniem pomiędzy chłodniczymi układami otwartymi i absorpcyjnymi układami zamkniętymi są układy adsorpcyjne. Przy temperaturze czynnika zasilającego 60-95°C mogą już być zasilane przez najbardziej rozpowszechnione kolektory słoneczne (cieczowe płaskie) osiągając wartość COP w zakresie 0,6-0,7 (Kwiecień, 2009). Dodatkowo do ich zasilania można wykorzystać niskotemperaturowe ciepło odpadowe. Istnieje także możliwość współpracy z miejską siecią ciepłowniczą. W tego typu układach wykorzystywany jest naturalny czynnik chłodniczy, jakim jest woda. Zaletą adsorpcyjnego układu chłodniczego może być również niewielka ilość części ruchomych, tj. wysoka dyspozycyjność. Do głównych problemów związanych z ich wykorzystywaniem zaliczyć należy wysokie nakłady inwestycyjne (mała produkcja), niska efektywność eksploatacyjna (brak wystarczającej wiedzy dotyczącej ich integracji z pozostałymi elementami instalacji klimatyzacji – wytyczne do projektowania, budowy i montażu), brak sprawdzonych rozwiązań w różnych warunkach pracy układów chłodzenia (Idczak, 2008).

Należy stwierdzić, że ogólnie dostępne są dane dotyczące piętnastu tego typu instalacji, z czego większość w Niemczech, a pozostałe w Indiach, Grecji,

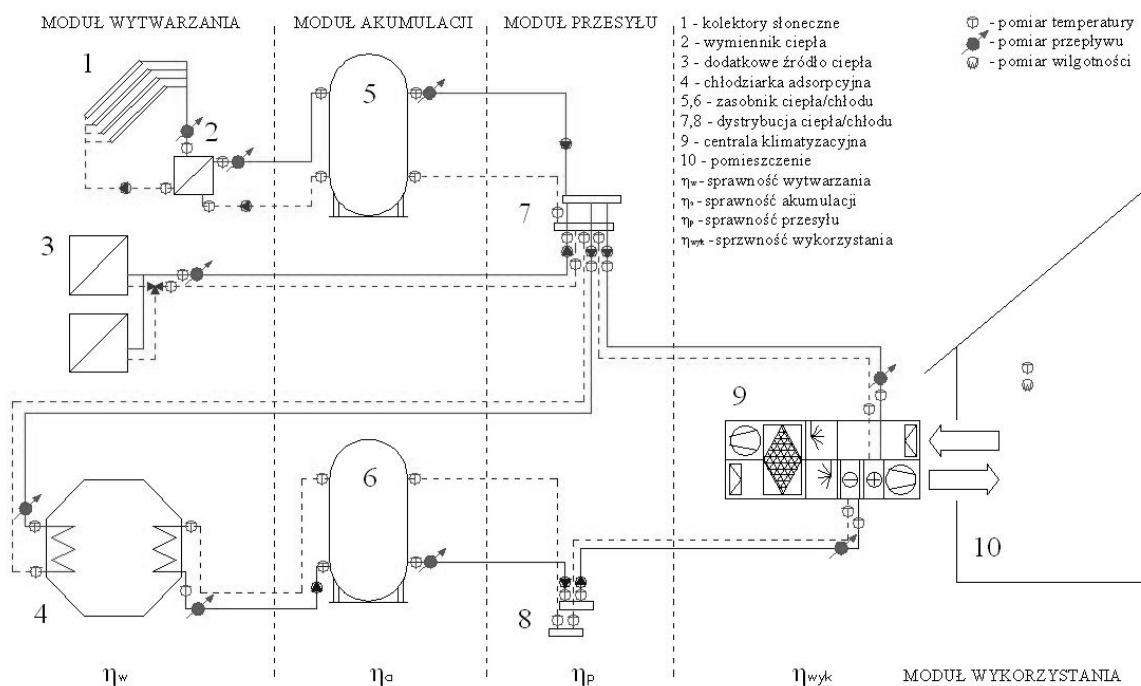
Meksyku, Chinach i Włoszech. Przykłady te odnoszą się głównie do instalacji o mocach chłodniczych powyżej 50 kW (Idczak, 2008; Isaksson, 2004). Natomiast w zakresie małych mocy, od kilku do kilkunastu kW, znikoma jest ilość wyników dotyczących koncepcji rozwiązań wykorzystania promieniowania słonecznego do chłodzenia budynków. Konieczność szukania tego typu rozwiązań wymuszają dynamicznie przeprowadzane termomodernizacje istniejących budynków, jak również budowa nowych budynków o skrajnie niskiej energochłonności. Należy tutaj podkreślić, że bezpośrednie przenoszenie doświadczeń i wiedzy z układów o średniej i dużej mocy na układy małej mocy stwarza znaczne problemy, zwłaszcza w czasie weryfikacji tych rozwiązań w rzeczywistych warunkach pracy.

4. Budowa układu

Ogólny schemat słonecznego adsorpcyjnego układu klimatyzacyjnego powinien składać się z czterech podstawowych modułów: modułu wytwarzania, modułu akumulacji, modułu przesyłu i modułu wykorzystania.

Moduł wytwarzania odpowiadać będzie za sprawność wytwarzania ciepła i chłodu. Będzie on zawierał układ kolektorów słonecznych, dodatkowe źródło ciepła oraz chłodziarkę adsorpcyjną. Moduł akumulacji tworzyć będą zasobniki ciepła i chłodu. Dla tego modułu wielkościami charakterystycznymi będzie sprawność przesyłu ciepła i chłodu. Moduły przesyłu i wykorzystania pozwalają na określenie i skonfigurowanie pod kątem możliwych do uzyskania w danych warunkach mocy chłodniczych.

Ogólny schemat słonecznego adsorpcyjnego układu klimatyzacyjnego zaprezentowano na rys. 3.



Rys. 3. Schemat słonecznego adsorpcyjnego układu klimatyzacyjnego

Kolektor słoneczny absorbuje energię promieniowania słonecznego. Kolektor najczęściej umieszczany jest na dachu budynku od strony południowej. Nierzadko spotykane jest umiejscowienie kolektorów słonecznych w sąsiedztwie budynku. Energia za pośrednictwem nośnika ciepła jest transportowana do zasobnika ciepła. W przypadku klimatu, w którym występują temperatury otoczenia poniżej 0°C w kolektorach słonecznych stosuje się ciecz o obniżonej temperaturze krzepnięcia (na przykład wodny roztwór glikolu). Tego typu konstrukcja obliuguje do wyposażenia układu dodatkowo w wymiennik ciepła. Ciepło z zasobnika służy do napędu termochemicznego urządzenia chłodniczego działającego w układzie zamkniętym, jakim jest chłodziarka adsorpcyjna. W układach kombinowanych ciepło z zasobnika może być wykorzystane do podgrzewu ciepłej wody użytkowej, procesu technologicznego, bądź w okresie zimowym do ogrzewania budynku.

W systemach słonecznych adsorpcyjnych instalacji klimatyzacyjnych stosowane są najczęściej kolektory cieczowe płaskie, rurowo-próżniowe i próżniowe z reflektorem CPC. Aby zabezpieczyć układ pod kątem ciągłości funkcjonowania w czasie o obniżonej wartości promieniowania słonecznego stosuje się dodatkowe źródło ciepła do wspomaganie kolektorów słonecznych.

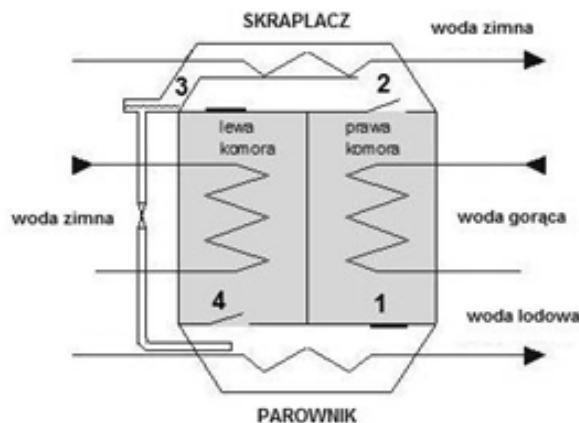
5. Adsorpcyjna wytwornica wody lodowej

Do podstaw chłodzenia adsorpcyjnego można przyporządkować kilka zasad. Jako czynnik chłodzący wykorzystywana jest woda. W niskim ciśnieniu, rzędu 10-20 mmHg, woda zaczyna parować w temperaturze pokojowej (Rubik, 2006). Podczas parowania pobierane jest ciepło z otoczenia i dzięki temu zjawisku realizowane jest chłodzenie w cyklu adsorpcyjnym. Następnie woda jest skraplana wewnątrz urządzenia. Oznacza to, że system chłodzenia adsorpcyjnego jest systemem zamkniętym. Podstawą adsorpcji w procesie chłodzenia jest pobieranie par wody poprzez materiał sorpcyjny – adsorbent i osadzanie na jego rozbudowanej powierzchni (najczęściej silikażelu lub zoolitach). Taki proces często jest stosowany do osuszania powietrza. Adsorbent może być regenerowany poprzez doprowadzenie odpowiedniego ładunku ciepła. Adsorbentem może być materiał, który nie zmieni swoich właściwości strukturalnych na skutek zawilgocenia. Proces regeneracji realizowany poprzez podniesienie temperatury jest odwracalny i nieograniczenie wiele razy powtarzalny.

Proces parowania jest zależny od temperatury i ciśnienia. Pod wpływem ciśnienia atmosferycznego (760 mmHg) woda paruje w 100°C . Jeżeli zostanie obniżone ciśnienie temperatura parowania wody również obniży się. Przy osiągnięciu odpowiedniej wartości podciśnienia woda może parować w temperaturze pokojowej. Kiedy woda spłynie obiegiem ze skraplacza do naczynia parownika następuje proces intensywnego parowania przy pobieraniu energii w postaci ciepła z otoczenia (GBU, 1999).

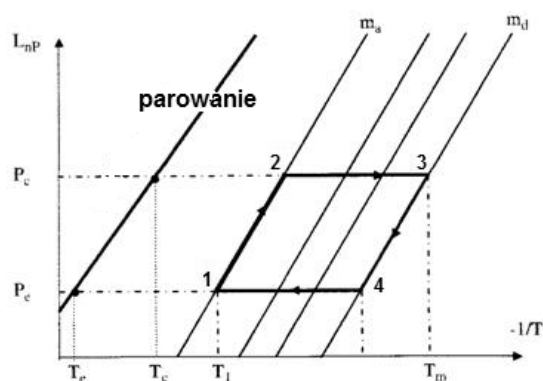
Schemat i zasady działania adsorpcyjnego urządzenia

ziębniczego przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Schemat ideowy adsorpcyjnego urządzenia chłodniczego (Rubik, 2006)

Podstawowy cykl adsorpcyjny dla celów chłodzenia składa się z czterech reprezentatywnych procesów przedstawionych na rys. 5.



Rys. 5. Cykl ideowy adsorpcyjnego urządzenia chłodniczego na diagramie Clapeyron'a (Rubik, 2006)

W procesie 1 – 2 adsorbent jest ogrzewany przez energię promieniowania słonecznego do momentu, aż ciśnienie osiągnie poziom pozwalający na desorpcję czynnika roboczego (stan 2). Podczas procesu 2 – 3 oprócz energii cieplnej promieniowania słonecznego jest realizowana desorpcja par czynnika roboczego, który skrapla się w skraplaczu pod wpływem chłodzenia powietrzem, czy też obiegiem wody zimnej. W stanie 3, gdy adsorbent osiąga maksymalną temperaturę, energia z kolektorów słonecznych przestaje być dostarczana. Konieczność chłodzenia adsorbentu powoduje spadek ciśnienia w adsorberze (proces 3 – 4). W tym czasie ciekły czynnik roboczy przepływa do parownika. Kiedy ciśnienie w parowniku osiągnie poziom pozwalający na proces parowania w temperaturze w nim panującej zawór zostaje otwarty (stan 4). Temperatura w parowniku obniża się na skutek parowania, a pary czynnika roboczego są adsorbowane przez materiał sorpcyjny, co powoduje efekt chłodzenia (proces 4 – 1).

6. Podsumowanie

W ramach analizowanego problemu można stwierdzić, że w ilości układów chłodniczych zasilanych termicznie zdecydowanie przoduje Europa, na terenie której funkcjonuje ponad połowa tego typu systemów na całym świecie, głównie w Niemczech i Hiszpanii. Należy zaznaczyć, że przykłady te odnoszą się głównie do instalacji o mocach chłodniczych powyżej 50 kW. Natomiast w zakresie małych mocy, tj. od kilku do kilkunastu kW niewielka jest ilość wyników dotyczących koncepcji rozwiązań wykorzystania promieniowania słonecznego do chłodzenia budynków. Konieczność szukania tego typu rozwiązań wymuszają dynamicznie przeprowadzane termomodernizacje istniejących budynków, jak również budowa nowych budynków o skrajnie niskiej energochłonności. Należy tutaj podkreślić, że bezpośrednie przenoszenie doświadczeń i wiedzy z układów o średniej i dużej mocy na układy małej mocy stwarza znaczne problemy, zwłaszcza w czasie weryfikacji tych rozwiązań w rzeczywistych warunkach pracy.

Literatura

- Balaras C. A., Grosman G., Henning H. M., Infante Ferreira C. A., Podesser E., Wang L., Wiemken E. (2005). Solar air conditioning in Europe – an overview. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*.
- Besler G.J., Besler M. (2008). Mikroklimat pomieszczeń – prognozy rozwoju i kierunki badań. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 2/2008.
- Besler M., Kowalski P., Kwiecień D., Schwitalla A. (2008). Solarne systemy klimatyzacyjne SDEC. *Instal*, 1/2008, 36-42.

- GBU (1999). Adsorption chiller NAK. *GBU mbH Wiesenstraße 5, D-64625 Bensheim, German*.
- Henning H. M. (2007). Solar assisted air conditioning of buildings – an overview. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, No. 10, 1739-1749.
- Idczak M. (2008). Współczesne technologie wykorzystania ciepła do produkcji chłodu małej wydajności. W: *Materiały konferencyjne*, Warszawa 2008.
- Isaksson C. (2004). Solar Cooling. *Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency*, Wien.
- Jankowski B. (2009). Perspektywy rozwoju energetyki w Polsce. *Energia i Budynek*, 4/2009.
- Jeziorski M. (2009). Polski sektor energetyczny na tle europejskim. *Energia i Budynek*, 5/2009.
- Kwiecień D. (2009). Kolektory słoneczne w solarnych systemach klimatyzacyjnych. W: *Materiały konferencyjne Forum Wentylacja, Salon Klimatyzacja*, Warszawa 2009.
- Pluta Z. (2007). Słoneczne instalacje energetyczne. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.
- Renewable Energy Technology Roadmap (2007). *European Renewable Energy Council* www.erec.org.
- Rubik M. (2006). Klimatyzacja solarna – możliwości i tendencje rozwoju. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 10/2006.

SYSTEMS OF THE AIR-CONDITIONING OF BUILDINGS POWERED WITH THE SOLAR RADIATION ENERGY

Abstract: In this article systems of the air-conditioning of buildings with the solar energy utilization were described. There was also presented a demonstration system of the air-conditioning with using the solar driven adsorption chiller. Benefits coming from applying solar systems to the air-conditioning were shown. A standard structure of the adsorption chiller was presented. Energy problems in European Union countries were also considered.

