

Włodzimierz Smolec, Andrzej Kołodziej, Mieczysław Jaroszyński  
Instytut Inżynierii Chemicznej PAN, Gliwice

## Wykorzystanie energii słonecznej do ogrzewania z krótkoterminowym magazynowaniem ciepła

Obawy przed zmianami klimatu spowodowanymi przez rosnącą zawartość gazów cieplarnianych w atmosferze są powodem rosnącego wykorzystania na całym świecie odnawialnych źródeł energii, w tym również energii promieniowania słonecznego. Najczęściej stosowanym sposobem wykorzystania energii słonecznej jest wykorzystanie jej do podgrzewania wody użytkowej. Instalacje takie nie są już rzadkością w naszym kraju. Innym sposobem wykorzystania energii słonecznej, ciągle jeszcze przyszłościowym, jest wykorzystanie jej do ogrzewania budynków [1, 2]. W pracy przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych doświadczalnej instalacji ogrzewania słonecznego z krótkoterminowym magazynowaniem ciepła.

### Instalacje ogrzewania słonecznego

Energia promieniowania słonecznego może być wykorzystana do ogrzewania budynków za pomocą słonecznych instalacji grzewczych biernych (pasywnych) i czynnych (aktywnych). Działanie instalacji biernych opiera się na wykorzystaniu elementów konstrukcyjnych budynku do absorbowania promieniowania słonecznego i magazynowania generującego się ciepła [3]. W instalacjach takich przepływ ciepła zachodzi przez konwekcję naturalną w powietrzu, przez przewodzenie w elementach konstrukcyjnych budynku i przez promieniowanie. Możliwości sterowania przepływem ciepła w takich instalacjach są bardzo ograniczone. W celu zintensyfikowania przepływu ciepła w słonecznej instalacji grzewczej i uzyskania możliwości sterowania jej pracą stosuje się instalacje czynne, w których najważniejszą rolę odgrywa przepływ ciepła przez konwekcję wymuszoną w powietrzu.

W instalacjach czynnych energia promieniowania słonecznego przetwarzana jest na ciepło użyteczne za pomocą kolektorów słonecznych, powietrznych lub cieczowych. Przepływ czynnika roboczego przenoszącego ciepło wymuszony jest przez wentylatory lub pompy, zależnie od typu instalacji. W celu wykorzystania w jak największym stopniu ciepła generującego się w kolektorach czynne instalacje słoneczne wyposażone są w magazyny ciepła. W zależności od rodzaju instalacji grzewczej magazyny ciepła mogą być krótkoterminowe lub długoterminowe, które nazywane są także magazynami sezonowymi.

Krótkoterminowe magazyny ciepła mogą umożliwić pracę instalacji przez kilka godzin lub dni przy braku bezpośredniego promieniowania słonecznego [4], natomiast długoterminowe magazyny ciepła ładowane są ciepłem słonecznym w okresie lata-jesieni, a zmagazynowane ciepło wykorzystywane jest w okresie jesieni-zimy [5]. Działanie długoterminowych magazynów ciepła wspomagane jest przez pompy ciepła.

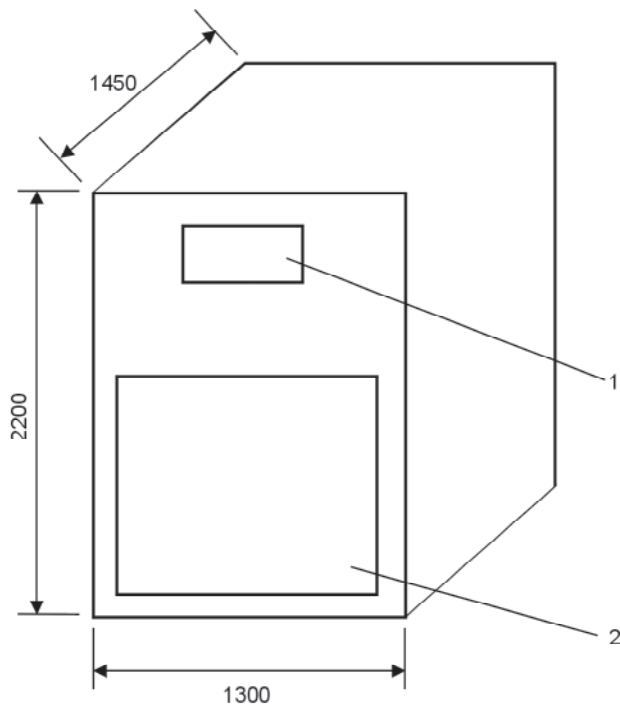
Najprostszym sposobem magazynowania ciepła jest podniesienie temperatury odpowiednio dobranego czynnika roboczego. Najczęściej stosowane magazyny ciepła działające na tej zasadzie to zbiorniki wody i złoża kamienne. Ilość zmagazynowanego w nich ciepła jest proporcjonalna do masy użytego czynnika, przyrostu temperatury tego czynnika i zależy od jego ciepła właściwego.

W metodzie tej wykorzystuje się więc ciepło jawne czynnika. Przy rosnącej temperaturze czynnika straty ciepła z takiego magazynu do otoczenia wzrastają. Wady tej pozbawione są metody wykorzystujące reakcje chemiczne i metody wykorzystujące ciepło utajone, będące ciepłem przemian fazowych odpowiednio dobranych materiałów.

Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego nie daje możliwości całkowitego i opłacalnego pokrycia zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania. Z tego względu instalacje słoneczne muszą być wspomagane przez konwencjonalne urządzenia grzewcze o małej bezwładności cieplnej.

### Stanowisko doświadczalne i opis badań

Stanowisko doświadczalne składało się z dwóch kabin o takiej samej konstrukcji, które służyły do symulacji ogrzewania budynku. Obie kabiny wyposażono w grzejniki elektryczne i czujniki temperatury mierzące w sposób ciągły temperaturę powietrza w każdej z nich. Jedna kabina, badawcza, wyposażona była ponadto w słoneczną instalację grzewczą złożoną m.in. z kolektora powietrznego umieszczonego pionowo na południowej ścianie oraz magazynu ciepła. Druga kabina była kabiną referencyjną. Wymiary zewnętrzne kabin doświadczalnych podano na rysunku 1.



Rys. 1. Wymiary zewnętrzne kabiny doświadczalnej (na przykładzie kabiny badawczej)

1 – okno, 2 – kolektor powietrzny

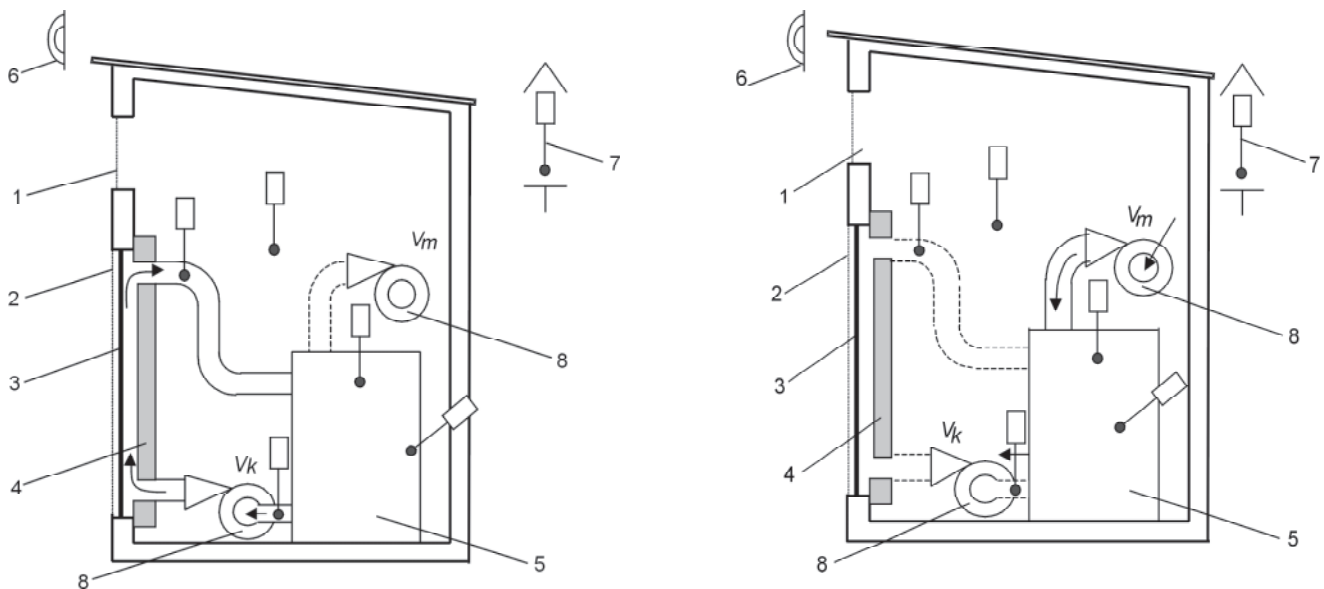
Schemat słonecznej instalacji grzewczej znajdującej się w kabinie badawczej przedstawiono na rysunku 2 (w celu zwiększenia czytelności na rysunku nie uwidocznił grzejnika).

Absorber kolektora powietrznego wykonano z płaskiej blachy miedzianej o powierzchni  $1,14 \text{ m}^2$ . Powierzchnię absorbera, na którą padało promieniowanie słoneczne, pokryto czarną matową farbą, a od zewnątrz osłonięto szybą. Absorber, osłaniająca go szyba i ściany boczne kolektora tworzyły zamkniętą przestrzeń. Obok szyby, powstała szczelina powietrzna stanowiła izolację cieplną dla absorbera od strony zewnętrznej. Powietrze przepływało kanałem utworzonym przez dolną powierzchnię absorbera i tylną ścianę kolektora wykonaną ze sklejki drewnianej. Sklejka i przymocowana do niej płyta styropianowa stanowiły izolację cieplną kolektora od strony kabiny.

W słonecznej instalacji grzewczej znajdowały się dwa obiegi powietrza. W każdym z nich znajdował się wentylator. Jeden obieg (zamknięty) tworzyły kolektor, magazyn ciepła, wentylator  $V_k$ , w drugim obiegu (otwartym) znajdował się magazyn ciepła i wentylator  $V_m$ . Magazyn ciepła, którym był izolowany prostokątny zasobnik zawierał 45 zamkniętych rurek wypełnionych wodnym roztworem glikolu etylenowego (10%). Rurki w magazynie ciepła umieszczono pionowo. Łączna objętość wodnego roztworu glikolu wynosiła ok.  $100 \text{ dm}^3$ .

Schemat magazynu ciepła przedstawiono na rysunku 3.

Na rysunku uwidocznił również drogi przepływu powietrza przez złożę podczas magazynowania ciepła i podczas jego odbioru. Drogi przepływu powietrza przez złożę zależały od tego, który z wentylatorów był włączony i od położenia zaworów w otworach wylotowych z magazynu (na rys. 2 i 3 zawory te zostały pominięte).

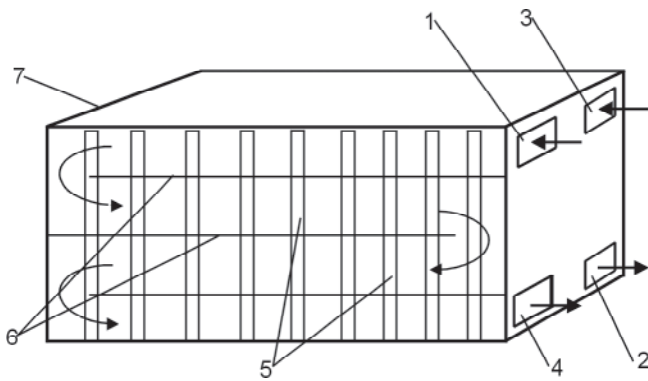


Rys. 2. Schemat słonecznej instalacji grzewczej znajdujący się w kabinie badawczej

- a) przepływ powietrza w instalacji podczas magazynowania ciepła;  
b) przepływ powietrza podczas ogrzewania kabiny ciepłem odbieranym z magazynu ciepła

1 – okno, 2 – szyba osłonowa kolektora, 3 – absorber kolektora, 4 – izolacja cieplna kolektora, 5 – magazyn ciepła,  
6 – piranometr, 7 – czujnik temperatury mierzący temperaturę otaczającego powietrza, 8 – wentylator  
Strzałki wskazują kierunek przepływu powietrza

## Wyniki



Rys. 3. Schemat magazynu ciepła

- 1 – wlot powietrza w obiegu zamkniętym,
- 2 – wylot powietrza w obiegu zamkniętym,
- 3 – wlot powietrza w obiegu otwartym,
- 4 – wylot powietrza w obiegu otwartym,
- 5 – rurki z wodnym roztworem glikolu etylowego,
- 6 – przegrody,
- 7 – obudowa magazynu ciepła

W fazie ładowania magazynu ciepła (magazynowania ciepła) podgrzane w kolektorze powietrze wchodziło do magazynu ciepła przez otwór 1, a następnie po wyjściu z niego przez otwór 2 kierowane było na wejście do kolektora.

W fazie odbioru ciepła powietrze z wnętrza kabiny wchodziło do magazynu ciepła otworem 3, a następnie po podgrzaniu wracało do kabiny otworem 4.

Podczas pracy instalacji mierzono natężenie promieniowania słonecznego w płaszczyźnie kolektora, temperaturę powietrza zewnętrznego oraz temperaturę powietrza w obu kabinach

W kabinie badawczej mierzono również temperaturę powietrza na wlocie do kolektora i na jego wylocie, temperaturę w magazynie ciepła oraz temperaturę powietrza na wylocie z magazynu ciepła (rys. 2).

Pracą wentylatorów i grzejników sterował komputer na podstawie ciągłych pomiarów temperatury w wymienionych powyżej miejscach stanowiska doświadczalnego. Wentylatory w obiegach zamkniętym i otwartym pracowały naprzemian. Wentylator w obiegu zamkniętym (kolektorowym) uruchamiano wtedy, gdy temperatura powietrza na wylocie z kolektora przewyższała temperaturę na wlocie o 4°C, a zatrzymywano, gdy różnica temperatur była mniejsza od 2°C.

W tej fazie pracy słonecznej instalacji grzewczej następowało ładowanie magazynu ciepła. Wentylator w obiegu otwartym uruchomiony był, gdy temperatura w kabinie nie przewyższała 19,1°C, a temperatura w magazynie była wyższa od temperatury we wnętrzu kabiny. Była to faza, w której zachodził odbiór ciepła z magazynu ciepła.

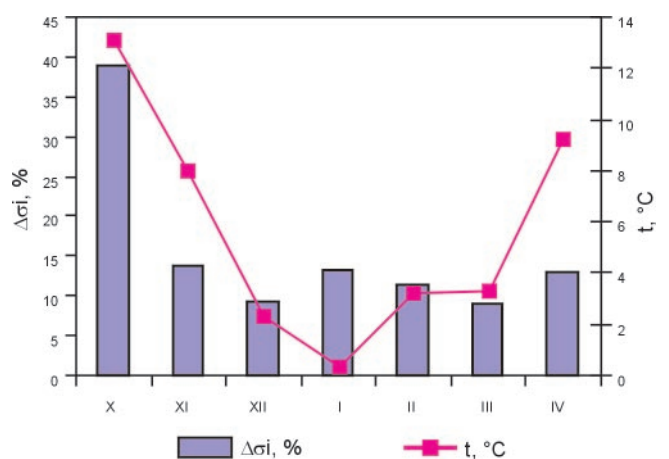
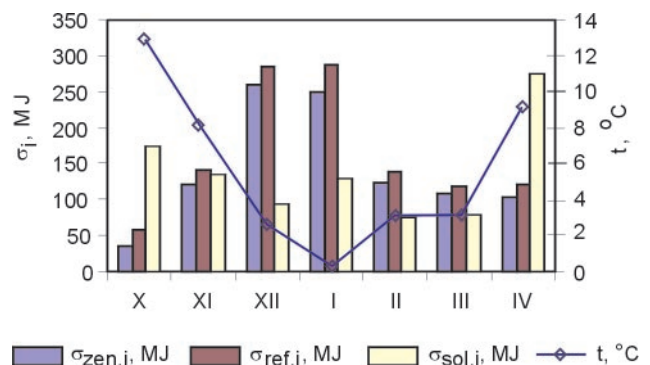
Ogrzewanie elektryczne uruchamiano wtedy, gdy temperatura powietrza w kabinach spadała poniżej 18,9°C, grzejniki wyłączano, gdy temperatura powietrza przekraczała 19,1°C. Mierzono zużycie energii elektrycznej przez grzejniki i przez wentylatory.

Pomiary przeprowadzono od października do końca kwietnia. Na podstawie wyników pomiarów wyznaczono dla każdego miesiąca sumę promieniowania słonecznego  $\sigma_{sol,i}$  na powierzchni szyby osłonowej kolektora, zużycie energii  $\sigma_{zen,i}$  przez grzejniki na ogrzewanie kabiny badawczej i przez wentylatory wymuszające przepływ powietrza w słonecznej instalacji grzewczej oraz zużycie energii  $\sigma_{ref,i}$  na ogrzewanie kabiny referencyjnej. Dla każdego miesiąca wyznaczono średnie temperatury  $t$  powietrza zewnętrznego.

Oszczędności w zużyciu energii do ogrzewania kabin określano przez porównanie zużycia energii w kabinie badawczej i w kabinie referencyjnej. Miesięczne oszczędności w zużyciu energii  $\Delta\sigma_i$  do ogrzewania kabiny badawczej obliczano z wzoru

$$\Delta\sigma_i = \frac{\sigma_{ref,i} - \sigma_{zen,i}}{\sigma_{ref,i}} 100\% \quad (1)$$

Wyniki przeprowadzonych pomiarów oraz obliczone na ich podstawie oszczędności w zużyciu energii przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Miesięczne zużycie energii  $\sigma_{zen,i}$  do ogrzewania i napędu wentylatorów w kabinie badawczej, miesięczne zużycie energii  $\sigma_{ref,i}$  do ogrzewania kabiny referencyjnej, miesięczne sumy energii słonecznej  $\sigma_{sol,i}$  na powierzchni szyby osłonowej kolektora oraz średnie miesięczne temperatury  $t$  powietrza zewnętrznego – a); miesięczne oszczędności w zużyciu energii na ogrzewanie kabiny badawczej  $\Delta\sigma_i$  oraz średnie miesięczne temperatury powietrza zewnętrznego  $t$  – b)

Jak z wykresu 4a widać, suma promieniowania słonecznego na powierzchni kolektora przewyższa różnice w zużyciu energii elektrycznej w kabinie referencyjnej i w kabinie badawczej. Jest to związane z tym, że energia słoneczna nie jest całkowicie przetwarzana na ciepło użytkowe w kolektorze. Ponadto, w miesiącach, w których temperatura powietrza jest stosunkowo wysoka i zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania jest stosunkowo niskie, ilość energii słonecznej możliwej do wykorzystania jest duża i może znacznie przewyższać to zapotrzebowanie. Na rysunku 4b przedstawiono oszczędności w zużyciu energii w kabinie badawczej w porównaniu z zużyciem energii w kabinie referencyjnej.

Oszczędności w zużyciu energii w całym sezonie grzewczym wynosiły ok. 13%.

## Wnioski

Długookresowe badania eksploatacyjne doświadczalnej słonecznej instalacji grzewczej wykazały, że wykorzystanie energii promieniowania słonecznego pozwolić może na pokrycie ok. 13% zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania w okresie grzewczym (od października do kwietnia). Wynik ten uwzględnia zużycie energii elektrycznej przez wentylatory. Z uwagi na niepowtarzalność warunków meteorologicznych udział energii słonecznej w zaspokajaniu zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania mógłby być nieco inny, gdyby pomiary prowadzono w innym sezonie grzewczym. Uzyskanie bardziej miarodajnego wskaźnika wymaga przeprowadzenia dodatkowych pomiarów w dwóch sezonach grzewczych.

Znajomość rozmiarów kabiny doświadczalnej i kolektora powietrznego pozwala na oszacowanie oszczędności w zużyciu energii do ogrzewania budynku rzeczywistego, jakich można oczekiwać wykorzystując instalację słoneczną analogiczną do tej, która w artykule została opisana. Udział energii słonecznej w bilansie cieplnym rzeczywistego budynku można powiększyć przez zastosowanie kolektorów powietrznych o większej powierzchni w stosunku do powierzchni zewnętrznej tego budynku porównaniu do wielkości kolektora użytego w badaniach. Innym sposobem zwiększenia udziału energii słonecznej w zaspokojeniu zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania może być zwiększenie sprawności kolektora powietrznego przez zastosowanie absorberów nowych typów [6].

## LITERATURA

- [1] Kołodziej A.S., Jaroszyński M.: Performance of liquid convective diodes, *Solar Energy*, 61 (1997), s. 321
- [2] Kheradi J., Mansirisub W., Chaima S., Pratinthong N., Hirunlabh J., Field
- [3] Measurements of performance of roof solar collector. *Energy and Buildings*, 31 (2000), s. 171
- [4] Smolec W.: Fototermiczna konwersja energii słonecznej, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000
- [5] Cook J.: Rock bed design and construction for heating and cooling, w: *Passive and Low Energy Architecture*, 2<sup>nd</sup> International PLEA Conference, Crete, Greece 28 June—1 July 1983, Eds. S. Yannas, A. Bowen, Pergamon Press, Oxford, 1983, 361
- [6] Pahud D.: Central solar heating plants with seasonal duct storage and short-term water storage: Design guidelines obtained by dynamic system simulations, *Solar Energy*, 69 (2000), s. 495
- [7] Smolec W., Jaroszyński M.: Absorbery w kolektorach powietrznych, Materiały VIII Ogólnopolskiego Forum Odnawialnych Źródeł Energii, Międzybrodzie Żywieckie 15—17 maja 2002

