

WYNIKI BADAŃ EKSPLOATACYJNYCH I OCENA OPLACALNOŚCI EKONOMICZNEJ INSTALACJI SOLARNEJ W GOSPODARSTWIE DOMOWYM

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych ciśnieniowego systemu solarnego przygotowującego ciepłą wodę użytkową w budynku mieszkalnym jednorodzinny. Celem badań była ocena stopnia pokrycia potrzeb ciepłych oraz opłacalność ekonomiczna zastosowanego systemu solarnego w pięcioosobowym gospodarstwie domowym. Zastosowany system solarne w okresie pracy (od kwietnia do listopada) pozwala na pokrycie 61% potrzeb ciepłych związanych z przygotowaniem c.w.u. Wyniki analizy ekonomicznej wskazują, że zastosowanie tego typu systemu w założonym 20-letnim okresie eksploatacji jest inwestycją opłacalną i zwróci się po ok. 15 latach eksploatacji.

Słowa kluczowe: instalacja solarne, ciepła woda użytkowa, gospodarstwo domowe, analiza ekonomiczna

Wprowadzenie

Instalacje solarne do przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) stają się coraz bardziej popularne w gospodarstwach domowych. Szacuje się, że instalacje solarne w Polsce istnieją u 110 tys. użytkowników. Według literatury [3] na koniec 2012 roku łącznie zainstalowanych i użytkowanych było 1,2 mln m² kolektorów słonecznych, co odpowiada 848 MW przeliczeniowej mocy cieplnej. Najczęściej stosowanymi instalacjami są glikolowe zestawy solarne, a więc całoroczne systemy działające na zasadzie wymiennika ciepła [3]. Analizując rozkład promieniowania słonecznego w Polsce [7] można stwierdzić, że blisko 80% nasłonecznienia przypada na sezon wiosenno-letni, a zatem systemy całoroczne w sezonie zimowym produkują minimalne ilości ciepła, więc muszą korzystać z dodatkowego źródła ciepła, którym może być wbudowana grzałka elektryczna lub dodatkowy wymiennik zasilany z kotła centralnego ogrzewania [9]. Na obszarach wiejskich, gdzie budynki w większości ogrzewane są kotłami na paliwa stałe [10] powszechnie jest stosowanie systemów zasobnikowych do przygotowania c.w.u. w sezonie grzewczym. Poza sezonem grzewczym stosowane są alternatywne źródła ciepła - najczęściej bojler elektryczny [4]. W takim przypadku z powodzeniem można stosować proste ciśnieniowe instalacje solarne ze zintegrowanym zbiornikiem. Zbiornik podłącza się bezpośrednio do instalacji wodociągowej. W literaturze przedmiotu najczęściej można znaleźć opracowania dotyczące systemów całorocznych [1-6, 9, 11, 12], brakuje natomiast opracowań dotyczących prostych instalacji solarnych, a szczególnie ich opłacalności ekonomicznej, dlatego celem badań była ocena stopnia pokrycia potrzeb ciepłych i opłacalności ekonomicznej ciśnieniowej instalacji solarnej w przykładowym gospodarstwie domowym.

Przedmiot badań

Przedmiotem badań była instalacja grzewcza składająca się z ciśnieniowego systemu solarnego SSC-150 H (rys. 1) zaadaptowanego do współpracy z istniejącą instalacją c.w.u. (rys. 2) w jednorodzinny budynku mieszkalny, zlokalizowany na terenie powiatu krakowskiego. Woda była przygotowywana na potrzeby pięciu użytkowników - cztery osoby dorosłe oraz dziecko. W skład systemu solarne wchodziło 15 rur solarne Heat-pipe (rurka ciepła) Ø 58 x 1800 (po-

wierzchnia absorpcji 1,92 m²) zintegrowanych ze zbiornikiem o pojemności 150 dm³.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 1. System solarne SSC - 150 H

Fig. 1. Solar system SSC - 150 H

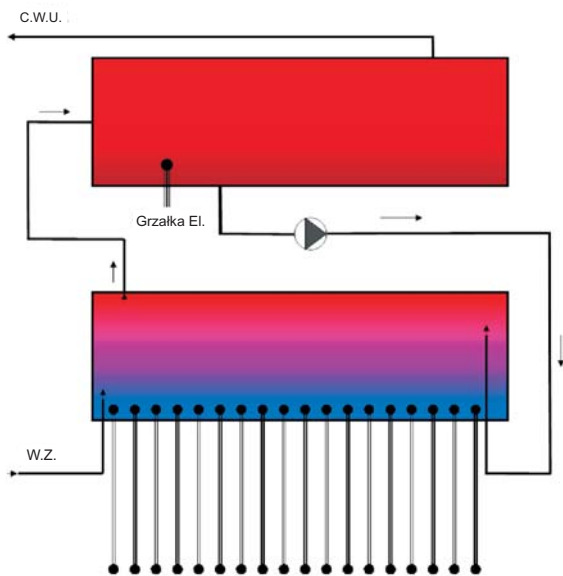


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 2. Istniejący zasobnik c.w.u. w budynku mieszkalny

Fig. 2 The existing reservoir of hot water in a residential building

Zbiornik zewnętrzny (na zewnątrz budynku) był połączony z istniejącym zasobnikiem c.w.u. o pojemności 140 dm³ (znajdującym się w kotłowni budynku) według schematu (rys. 3).



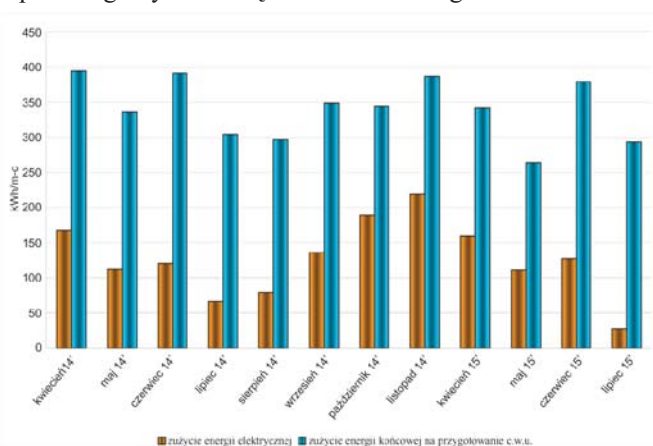
Zródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 3. Schemat podłączenia systemu solarnego z istniejącą instalacją c.w.u.
Fig. 3. Wiring diagram of the solar system with an existing installation of hot water

Podgrzana w zbiorniku zewnętrznym woda była przepompowywana do zbiornika wewnętrznego za pomocą pompy cyrkulacyjnej włączanej okresowo przez włącznik czasowy. W zbiorniku wewnętrznym znajdowała się grzałka elektryczna o mocy 2,3 kW włączana przez sterownik (temperatura zadana w zbiorniku wewnętrznym to 50°C).

Wyniki badań i ich analiza

Badania przeprowadzono od kwietnia do listopada 2014 roku oraz od kwietnia do lipca 2015 roku. W skład stanowiska badawczego wchodził licznik ciepła APATOR LQM III, za pomocą którego określono zużycie ciepła na przygotowanie c.w.u. oraz miernik zużycia energii elektrycznej GB202, do którego podłączona była grzałka elektryczna. Na wykresie (rys. 4) zestawiono zużycie energii końcowej na przygotowanie c.w.u. oraz zużycie energii elektrycznej przez grzałkę w poszczególnych miesiącach analizowanego okresu.

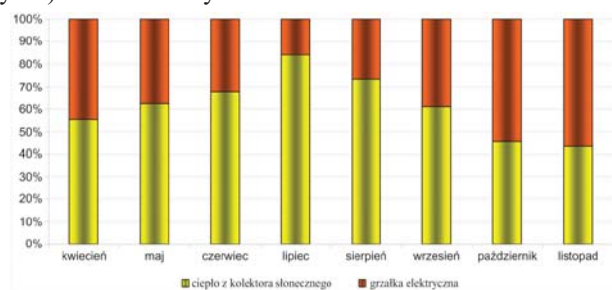


Zródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 4. Zużycie energii końcowej na przygotowanie c.w.u. oraz zużycie energii elektrycznej przez grzałkę elektryczną w poszczególnych okresach pomiarowych
Fig. 4. Final energy consumption for hot water preparation and consumption of electricity by electric heater in each measurement periods

W analizowanym okresie miesięczne zużycie energii końcowej na przygotowanie ciepłej wody użytkowej wahało się od 264 do 394 kWh przy wartości średniej 340 kWh/m-c. Zużycie energii elektrycznej w zależności od miesiąca wahało się od 27 kWh w lipcu 2015 r. do 219 w listopadzie 2014 r. Porównując poszczególne miesiące roku 2014 i 2015 można stwierdzić podobne zużycie energii elektrycznej dla kwietnia, maja i czerwca (± 10 kWh/m-c), natomiast analizując zużycie energii elektrycznej dla lipca można zauważyć, że przy nieznaczącej różnicy w zużyciu energii końcowej na przygotowanie c.w.u. zużycie energii elektrycznej w roku 2015 było o ok. 35 kWh niższe niż w roku 2014. Przeprowadzone badania pozwoliły również oszacować wielkość zużycia ciepłej wody użytkowej przez mieszkańców budynku. W analizowanym okresie wskaźnik jednostkowego zużycia ciepłej wody użytkowej (o temp. 50°C) wyniósł 29 dm³/os.·dobę, a zatem był zbliżony do wartości normatywnych [8].

Kolejnym etapem obliczeń było oszacowanie stopnia pokrycia potrzeb cieplnych przez kolektor słoneczny. Analiza była przeprowadzona dla 8 miesięcy w roku, w których system solarny jest użytkowany, przy czym dla kwietnia, maja, czerwca oraz lipca stopień pokrycia potrzeb cieplnych obliczono jako wartość średnią z lat 2014 i 2015. Na wykresie (rys. 5) zestawiono wyniki obliczeń.



Zródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 5. Stopień pokrycia potrzeb cieplnych przez kolektor słoneczny
Fig. 5. The coverage ratio of the heating needs through solar collector

Najwięcej energii cieplnej z instalacji solarnej można uzyskać w czerwcu, lipcu oraz sierpniu. Pozwala ona na pokrycie od ok. 70 do 85% zapotrzebowania na energię końcową. W pozostałych miesiącach uzysk energii z instalacji solarnej jest znacznie mniejszy i wynosi od 43-45% w październiku i listopadzie do 55% w kwietniu. Średni stopień pokrycia potrzeb cieplnych przez kolektor w okresie pracy wynosi 61%.

Ocena ekonomiczna analizowanego systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej

Analizę ekonomiczną wykonano w oparciu o złożone metody oceny inwestycji rzeczowych, oparte na stopie procentowej (dyskontowej), uwzględniające zmianę wartości pieniądza w czasie, ryzyko oraz inflację.

Metodami tymi są:

- dyskontowany okres zwrotu nakładów *PBP* (*pay-back period*) - okres czasu, w którym dyskontowane przepływy pieniężne pokrywają poniesione nakłady inwestycyjne. Dyskontowany okres zwrotu nakładów uwzględnia zmienną wartość zainwestowanej kwoty w czasie:

$$PBP = \frac{\ln \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{NI}{WRK} \right) \cdot i} \right]}{\ln(1 + i)} \quad [\text{lata}], \quad (1)$$

- wartość zaktualizowana netto przedsięwzięcia *NPV* (*net present value*) - jest sumą wszystkich przyszłych przychodów dla okresu życia inwestycji sprawdzonych do roku bieżącego i pomniejszona o poniesione nakłady inwestycyjne:

$$NPV = \sum_{n=1}^{n=t} \frac{WRK_n}{(1+i)^n} - NI \quad [zł], \quad (2)$$

- koszt zaoszczędzonej energii *CCE* (*Cost of Conserved Energy*) - jeżeli koszt zaoszczędzonej energii jest mniejszy lub równy cenie płaconej za energię, istnieją przesłanki, że inwestycja jest opłacalna.

$$CCE = \frac{NI \cdot \frac{i}{1-(1+i)^{-n}} + Ke,o}{\Delta E} \quad [zł \cdot kWh^{-1}], \quad (3)$$

gdzie:

NI - koszty początkowe (koszt zakupu i uruchomienia instalacji) [zł],

Ke,o - roczne koszty użytkowania instalacji (energii, obsługi oraz amortyzacja instalacji),

t - kolejny rok użytkowania instalacji,

i - stopa dyskonta,

n - 1..20 kolejny rok kosztów (*n*=20 zakładana ilość lat cyklu życia instalacji),

NI - nakłady inwestycyjne [zł],

WRK - wartość rocznych korzyści [tys. zł],

ΔE - roczna oszczędność energii [kWh].

Na potrzeby analizy przyjęto rzeczywiste koszty inwestycyjne na zakup i montaż instalacji solarnej oraz koszty eksploatacyjne poniesione przez użytkowników w okresie objętym analizą (tab. 1). W skład kosztów eksploatacyjnych oprócz kosztów energii elektrycznej zużywanej przez grzałkę oraz pompę cyrkulacyjną weszła stawka amortyzacji instalacji solarnej liczona metodą liniową. Roczna oszczędność energii ΔE została obliczona jako różnica między całkowitym zużyciem energii końcowej (które przed zamontowaniem systemu solarnego było w całości pokrywane za pomocą energii elektrycznej zasilającej grzałkę w zasobniku c.w.u.) a zużyciem energii elektrycznej przez grzałkę oraz pompę cyrkulacyjną po zamontowaniu systemu solarnego.

Tab. 1. Podstawowe założenia do obliczeń ekonomicznych
Table 1. Basic assumptions for economical calculations

Wyszczególnienie	Wartość
<i>Kp</i> - koszty początkowe, [zł]	zakup - 3200
	montaż (materiały + robocizna) - 2200
<i>n</i> - całkowita liczba lat eksploatacji	20 lat
cena jednostkowa (brutto) energii wg taryf operatora	en. elektryczna taryfa G12e (0,42 zł/kWh),
<i>i</i> - stopa dyskonta	5%
<i>Ke,o</i> - roczne koszty użytkowania instalacji (w tym stawka amortyzacji), [zł]	630
ΔE - roczna oszczędność energii [kWh]	1613
<i>WRK</i> - wartość rocznych korzyści z tytułu użytkowania instalacji solarnej, [zł]	515

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

W tab. 2 zestawiono otrzymane wyniki analizy ekonomicznej.

Tab. 2. Wyniki analizy ekonomicznej
Table 2. Economical analysis

Wyszczególnienie	Wartość
PBP [lata]	15
NPV [zł]	970
CCC [zł/kWh]	0,27

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Podsumowanie i wnioski

1. Średnie miesięczne (w okresie od kwietnia do listopada) zużycie ciepła na przygotowanie ciepłej wody użytkowej dla pięcioosobowej rodziny wynosi 340 kWh.
2. W analizowanym obiekcie wskaźnik jednostkowego zużycia ciepłej wody użytkowej (o temp. 50°C) wyniósł 29 dm³/os.·dobę.
3. Średni stopień pokrycia potrzeb cieplnych przez system solarny w badanym okresie pracy wynosi 61%.
4. Przeprowadzona analiza ekonomiczna wskazuje, że badany system solarny w założonym okresie eksploatacji jest ekonomicznie opłacalny. Koszty poniesione na zakup instalacji zwrócą się po 15 latach, a w latach kolejnych może przynieść dla inwestora ok. 1000 zł zysku. Również koszt zaoszczędzonej energii, wyrażony wskaźnikiem CCC, jest niższy od ceny zakupu, a zatem istnieją przesłanki, że inwestycja jest opłacalna.

Bibliografia

- [1] Chochowski A., Czekalski D.: Energetyczne kryteria oceny instalacji słonecznych. Mała energetyka '97. IV Konferencja Naukowo-Techniczna, 1997.
- [2] Chwieduk D.: Słoneczne i gruntowe systemy grzewcze, Zagadnienia symulacji funkcjonowania i wydajności cieplnej. Studia z Zakresu Inżynierii. Nr 37, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa, 1994, 43-48.
- [3] EC BREC 2013. Raport - Rynek kolektorów słonecznych w Polsce. Instytut energetyki Odnawialnej. Warszawa, <http://www.ieo.pl/pl/aktualnosci/698-rynek-kolektorow-sonecznych-w-polsce-2013--nowy-raport-instytutu-energetyki-odnawialnej.html>.
- [4] Knapik P.: Analiza systemów grzewczych w budynkach mieszkalnych na obszarach wiejskich. Praca magisterska. Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki. Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, 2015.
- [5] Latała H.: Termiczna konwersja energii słonecznej w płaskich kolektorach cieczowych. Inżynieria Rolnicza, 2005, 10(70), 277-284.
- [6] Lewandowski W.: Proekologiczne odnawialne źródła energii. Warszawa: WNT, 2006. ISBN 83-204-3112-3.
- [7] Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju. Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne do obliczeń energetycznych budynków. <https://www.mir.gov.pl/strony/zadania/budownictwo/dane-do-swiadectw-charakterystyki-energetycznej-budynkow/>.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej. (Dziennik Ustaw nr 201, poz. 1240).
- [9] Szulc R.: Wyniki badań eksploatacyjnych i funkcjonalnych instalacji solarnej w gospodarstwie domowym. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2012, Vol. 57(2), 171-174.
- [10] Trojanowska M., Szul T.: Techniczna i gospodarcza analiza oraz prognozowanie nakładów energetycznych na ogrzewanie budynków mieszkalnych na terenach wiejskich. Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria, 2003, 2(2), 69-75.
- [11] Wiśniewski G., Gołębiowski S., Gryciuk M. Kolektory słoneczne, poradnik wykorzystania energii słonecznej. COIB. Warszawa, 2001. ISBN 83-204-0418-5.
- [12] Wołoszyn M. Kolektory słoneczne - wykorzystanie energii słonecznej do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Technika Rolnicza, 2000, 5, 23-26.

RESULTS OF OPERATIONAL TESTS AND EVALUATION OF THE ECONOMICAL PROFITABILITY OF THE SOLAR INSTALLATION IN THE HOUSEHOLD

Summary

The results of operational tests of solar system preparing warm functional water in the single-family residential building were presented in this work. An assessment of the degree of covering thermal needs and an economical profitability of the applied solar system were a purpose of research in the household for five persons. Applied solar system in the period of the work (from April up to November) enables to cover 61% of thermal needs associated with arrangements of the domestic hot water. These results of the economic analysis indicate that applying the system of this type in assumed 20-year operating period is cost-effective investment and will be refunded after 15 years of use.

Key words: solar installation, preparing warm functional water, household, economic analysis

RECENZJA PODRĘCZNIKA

Trawniki. Projektowanie. Technika w zakładaniu i pielęgnacji

Praca zbiorowa pod redakcją Edmunda Dulceta



W 2015 roku do rąk czytelników dotarła nowa książka - nowy podręcznik akademicki pt. „*Trawniki. Projektowanie. Technika w zakładaniu i pielęgnacji*”. Jest on przeznaczony dla bardzo szerokiego grona czytelników. Szczególnie dla studentów szkół wyższych kształcących się w zakresie maszyn i urządzeń do kształtowania i ochrony krajobrazu, dla nauczycieli szkół zawodowych średniego szczebla kształcących w zakresie ogrodnictwa oraz architektury krajobrazu. Może być przydatny również dla służb komunalnych zajmujących się zielenią miejską, działkowiczów i właścicieli ogrodów.

Podręcznik jest bardzo starannie wydany przez Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Zawiera 230 stron, w tym dwieście sześć rysunków i fotografii, które ułatwiają czytelnikowi poznanie tak licznej grupy maszyn, urządzeń i narzędzi oraz zgłębienie tajników ich rozwiązań technicznych zasad użytkowania i obsługi.

Merytoryczna treść podręcznika podzielona jest na 16 rozdziałów:

1. Zarys historii ogrodów
2. Trawniki
3. Projektowanie trawnika
4. Techniki zakładania trawnika
5. Pielęgnacja trawników
6. Mikrociągniki i mikronarzędzia
7. Maszyny do prac ziemnych
8. Maszyny do nawożenia
9. Siewniki
10. Kosiarki trawnikowe
11. Aeratory i wertykulatory
12. Urządzenia do nawadniania
13. Opryskiwacze
14. Maszyny i urządzenia w innych sposobach zakładania trawników
15. Zagospodarowanie odpadów organicznych
16. Obsługa i konserwacja maszyn i narzędzie. Zasady bezpiecznego użytkowania.

Przyjęty podział podręcznika zapewnia dobrą czytelność, tak ze względu na istotę prezentowanej problematyki, jak również na funkcje poznawcze, które spełnia. Bardzo ciekawym rozdziałem jest *Zarys historii ogrodów*. Informuje on czytelnika jak zmieniały się funkcje użytkowe i estetyczne ogrodów od najstarszych cywilizacji do współczesności. Podręcznik zawiera również wiedzę ogólną z podstaw biologicznych i fizjograficznych odnośnie terenów zieleni. Autorzy, Pracownicy Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy oraz Politechniki Koszalińskiej, główny nacisk położyli na opis najnowszych rozwiązań technicznych w obszarze narzędzi, moto- i elektronarzędzi, maszyn i urządzeń przeznaczonych do prac w terenach zieleni. Jest to kolejny na rynku wśród podręczników dydaktycznych o tej tematyce tak obszernie i docieklawie napisany podręcznik prezentujący maszyny i urządzenia stosowane podczas zakładania i pielęgnacji trawników. Zamieszczony wykaz literatury źródłowej pozwoli czytelnikowi na poszerzenie i pogłębienie technicznej wiedzy w tym zakresie.

Dr hab. inż. Zbyszek Zbytek, prof. nadzw.