



## **Ocena efektu ekologicznego wynikającego z zastosowania kolektorów słonecznych**

*Mirosław Żukowski*  
*Politechnika Białostocka*

### **1. Wprowadzenie**

Jednym ze sposobów prowadzących do ograniczenia szkodliwego oddziaływania na środowisko i jednocześnie poprawy poziomu bezpieczeństwa energetycznego jest szersze wykorzystanie alternatywnych źródeł energii. Tego typu działanie jest uważane za priorytetowe w polityce energetycznej krajów Unii Europejskiej. Zgodnie z pakietem klimatycznym, składającym się z czterech dyrektyw (2009/28/WE, 2009/29/WE, 2009/31/WE, 2009/406/WE 2009), do 2020 roku w państwach UE powinna nastąpić redukcja emisji gazów cieplarnianych o 20%, w stosunku do poziomu emisji z 1990 r., oraz udziału energii produkowanej z odnawialnych źródeł energii (OZE) powinien wynosić również 20%. W przypadku Polski wskaźniki te prawdopodobnie nie zostaną osiągnięte. Planuje się, że udział OZE w ostatecznym zużyciu energii wzrośnie do poziomu 15% w 2020 roku, a dopiero do 20% w roku 2030 (PEP2030 2010). Między innymi powszechniejsze zastosowanie termicznych kolektorów słonecznych może przyczynić się do spełnienia powyższych zobowiązań i planów.

W artykule rozpatruje się zagadnienie związane z redukcją ilości zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery wynikającej ze zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło służące do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Uzysk energetyczny został określony na podstawie własnych badań doświadczalnych pilotażowego systemu solarnego wspomagającego podgrzew c.w.u. w budynkach wielorodzinnych, który został opisany w dalszej części pracy.

W związku z ciągle toczącą się dyskusją na temat wpływu działalności gospodarczej człowieka na zmiany klimatyczne pojawia się w literaturze coraz większa liczba raportów z prac dotyczących wpływu systemów OZE na środowisko. Dlatego też w niniejszej pracy ograniczono się jedynie do zaprezentowania najnowszych publikacji.

Ardente i in. (2005) zajmowali się oceną oddziaływania na środowisko pojedynczego kolektora słonecznego zintegrowanego z zasobnikiem, który służył do ogrzewania wody użytkowej. Analizę teoretyczną wykonano dla warunków klimatycznych miasta Palermo (Włochy). Uzysk energetyczny urządzenia podany przez producenta wynosił 6.2 GJ w okresie rocznym. Zaś roczne ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>, w stosunku do kotła opalanego gazem ziemnym, oceniono na 407kg.

Energetyczne, ekonomiczne i środowiskowe aspekty stosowania kolektorów słonecznych w Stanach Zjednoczonych analizowali Hang, Qu i Zhao (2012). Autorzy stwierdzili, że tego rodzaju urządzenia stają się coraz bardziej popularniejsze. W 2011 roku solarne systemy podgrzewu c.w.u. były zamontowane w ponad 1.5 mln domów jednorodzinnych w USA, których moc wynosiła 158 MW. Przeprowadzono analizę teoretyczną tego rodzaju instalacji pracującej w warunkach klimatycznych trzech miast: Los Angeles, Atlanta i Chicago. Użyto oprogramowania do symulacji energetycznych budynków TRNSYS. Okazało się, że okres zwrotu, liczony metodą szacowania kosztu cyklu życia (LCC), był dosyć krótki i wahał się w granicach od 4 do 13 lat w zależności od lokalizacji oraz typu zastosowanych kolektorów. Zaś tak zwany ślad węglowy (ang. carbon footprint) przypadający na jedną osobę oszacowano na 150 kg do 1100 kg w ciągu roku.

Bessa i Prado (2015) stwierdzili, że w sytuacji zmian klimatycznych należy poszukiwać rozwiązań technologicznych, które charakteryzują się jak najmniejszym oddziaływaniem na środowisko. Jako jedno z najlepszych rozwiązań uważają solarne systemy podgrzewu wody. Autorzy przeprowadzili analizę możliwości redukcji emisji dwutlenku węgla wynikającej z zastosowania paneli słonecznych w miejsce podgrzewaczy elektrycznych powszechnie do tej pory stosowanych w Brazylii. W wyniku obliczeń teoretycznych oszacowano, że w zależności od warunków nasłonecznienia można ograniczyć roczną emisję CO<sub>2</sub> z jednej instalacji w granicach od 12 kg (7 strefa klimatyczna) do około 41 kg (1 strefa klimatyczna).

Ocenę systemu solarnego służącego do podgrzewu c.w.u. zasilającego osiedle mieszkaniowe składające się z 14 wieżowców zlokalizowane w Korei Południowej wykonał Yoo (2015). Trzyletnie wyniki badań doświadczalnych pokazały, że planowane zyski energii są o 52% mniejsze od wcześniej zakładanych. System solarny, który składał się z 672 kolektorów o łącznej powierzchni 1706 m<sup>2</sup>, dostarczył 2401 GJ energii w 2011r., 2168 GJ w 2012r. i tylko 1794 GJ w roku 2013. Pomimo tego okres zwrotu inwestycji został oceniony na maksymalnie 12 lat, przy optymistycznie zakładanych w projekcie 5 latach. Bilans energii rozpatrywanego systemu nie został sporządzony zbyt dokładnie, ponieważ nie uwzględniono zużycia prądu elektrycznego do napędu pomp obiegowych oraz strat ciepła z przewodów i zasobników. Autor analizy oszacował, że solarny układ podgrzewu c.w.u. pozwolił na roczną redukcję 186.3 ton CO<sub>2</sub> w porównaniu do przypadku, gdyby instalacja zasilana była z kotłowni olejowej.

Ogólna charakterystyka wpływu technologii słonecznych służących do produkcji energii na bezpieczeństwo, zdrowie lokalnych mieszkańców i środowisko została zaprezentowana przez Amana i in. (2015). W artykule przedstawiono wiele pozytywnych związków związanych z utylizacją energii słonecznej. Zauważono również pewne nieprawidłowości i negatywne aspekty, które pojawiają się na etapie produkcji, a później utylizacji urządzeń służących do konwersji promieniowania słonecznego na ciepło i w szczególności energię elektryczną. Autorzy zaproponowali jedenaście postulatów, które skierowali do producentów tych urządzeń w celu optymalizacji procesu ich wytwarzania i minimalizacji kosztów recyklingu.

Na podstawie szerokiego przeglądu literatury, której niewielki fragment zaprezentowano powyżej, należy stwierdzić, że podjęty w artykule temat jest aktualny i wart szerszego rozwijania, przy uwzględnieniu lokalnych uwarunkowań i specyfiki klimatu.

## **2. Opis obiektu badań**

Analizowany w niniejszym artykule system solarny został wykonany w ramach projektu pod nazwą „Poprawa efektywności energetycznej infrastruktury Politechniki Białostockiej z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii”. Przedsięwzięcie było dofinansowane ze środków

ków Unii Europejskiej w ramach Regionalnego Program Operacyjny Województwa Podlaskiego – działanie V. Rozwój infrastruktury ochrony środowiska.

System wspomagania podgrzewu wody użytkowej składa się z dwóch połączonych równoległe prawie identycznych układów kolektorów słonecznych. Zamontowano je na dachu Hotelu Asystenta Politechniki Białostockiej. Pierwsza instalacja składa się z 21 kolektorów próżniowych o łącznej powierzchni brutto ponad  $74 \text{ m}^2$  a druga z 35 kolektorów płaskich o łącznej powierzchni brutto około  $72 \text{ m}^2$ . W piwnicy budynku umieszczono osiem zasobników ciepła o pojemności 1000 l każdy.

System akwizycji wyników pomiaru odczytuje dane z 14 liczników ciepła obsługujących każdą sekcję kolektorów połączonych szeregowo, 2 liczników które dokonują pomiaru ilości konwertowanej energii oddzielnie dla każdego układu kolektorów i licznika zbiorczego umiejscowionego na zasilaniu instalacji c.w.u. Dodatkowo odbywa się pomiar temperatury w 42 wybranych punktach instalacji solarnej oraz dokonywane są odczyty z cztery mierników zużycie prądu przez pompy solarne i obiegowe.

Podstawowe parametry powietrza zewnętrznego, takie jak: temperatura, prędkość i kierunek wiatru oraz wilgotność, a także natężenia promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę poziomą i ustawioną pod kątem 45 stopni rejestrowane jest przez stację meteo zainstalowaną w pobliżu kolektorów.

### **3. Obliczenie redukcji emisji substancji wprowadzanych do powietrza**

Zmniejszenie zużycia energii na podgrzew ciepłej wody użytkowej  $\Delta E_{cwu}$ , jako rezultat działania kolektorów słonecznych, przy uwzględnieniu strat ciepła związanych z cyrkulacją wody w układzie solarnym i akumulacją podgrzanej wody w zasobnikach, zostało określone na podstawie wskazań liczników energii cieplnej. Uwzględniono również roczne zużycie prądu  $E_p$  wynikające z pracy dwóch pomp solarnych (1.39GJ) i dwóch pomp cyrkulacyjnych (1.49GJ) na podstawie wskazań rejestratorów energii elektrycznej.

Aby obliczyć redukcję emisji substancji wprowadzanych do powietrza  $\Delta P_{emis}$ , należy w pierwszej kolejności obliczyć ilość energii, która jest

wyprodukowana w źródle ciepła  $\Delta E_{zc}$  stosując zaproponowaną przez autora zależność (1). W prezentowanej analizie obiektem zużywającym energię jest budynek wielorodzinny, który jest zasilany w ciepło z miejskiej sieci ciepłowniczej. Zatem należy uwzględnić sprawność kotłów w elektrociepłowni, straty ciepła w sieci ciepłowniczej oraz sprawność transformacji energii w węźle cieplnym, a także sprawność regulacji.

$$\Delta E_{zc} = \frac{\Delta E_{cww} \cdot \eta_c \cdot \eta_{ak} \cdot \frac{\sum_{i=1}^4 E_{p,i}}{\eta_{el}}}{\eta_{syst}}, \quad (1)$$

gdzie:

$\eta_c$  – sprawność cyrkulacji wody podgrzanej w kolektorach słonecznych ( $\eta_c = 0.98$ ) [-],

$\eta_{ak}$  – sprawność akumulacji i transportu wody podgrzanej w kolektorach słonecznych ( $\eta_{ak} = 0.97$ ) [-],

$\eta_{el}$  – średnia sprawność wytwarzania energii elektrycznej w Polsce przyjęta za (Bartnik 2014) ( $\eta_{el} = 0.31$ ) [-],

$\eta_{syst} = \eta_k \cdot \eta_{sc} \cdot \eta_{wc} \cdot \eta_r$ ,

$\eta_k$  – średnioroczna sprawność kotłów w elektrociepłowni ( $\eta_k = 0.78$ ) [-],

$\eta_{sc}$  – sprawność transportu ciepła ( $\eta_{sc} = 0.9$ ) [-],

$\eta_{wc}$  – sprawność transformacji ciepła w węźle cieplnym ( $\eta_{wc} = 0.92$ ) [-],

$\eta_r$  – sprawność regulacji ( $\eta_r = 0.95$ ) [-].

Ilość energii wyprodukowana przez system kolektorów słonecznych w okresie rocznym  $\Delta E_{cww}$ , w rozbiu na poszczególne miesiące prezentuje wykres na rys. 1. Sumaryczna wartość  $\Delta E_{cww}$  wynosiła 230,61 GJ.

Jak można zauważyć uzysk energetyczny w okresie czterech najzimniejszych miesięcy w roku (listopad – luty) stanowił zaledwie 7.6%. Wynika to przede wszystkim z małego natężenia promieniowania słonecznego oraz niskiej temperatury zewnętrznej wpływającej na zwiększenie strat ciepła z kolektorów do otoczenia. Najwięcej energii zostało dostarczone do instalacji w sierpniu. Było to spowodowane przede wszystkim brakiem zachmurzenia i falą upałów panującą w tym miesiącu.

Po uwzględnieniu wszystkich sprawności wartość  $\Delta E_{zc}$ , obliczona z równania (1), wynosi 342.15 GJ w ciągu roku.

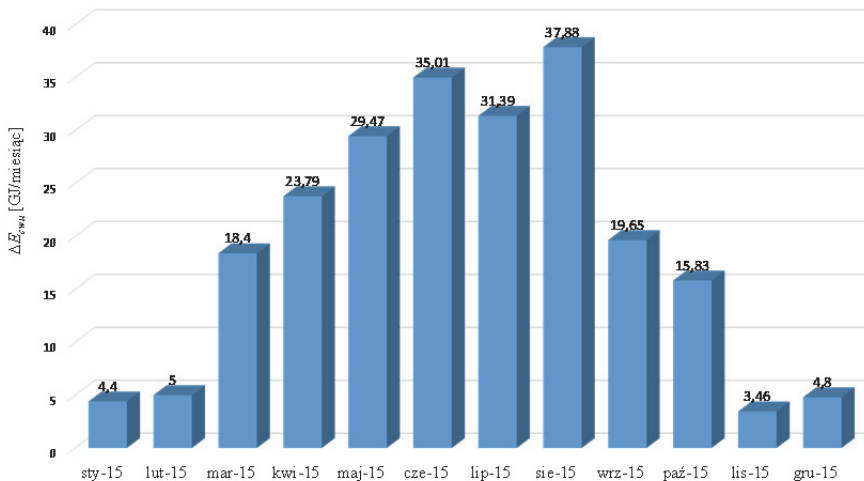
Zmniejszenie rocznej emisji zanieczyszczeń emitowanych do powietrza  $\Delta P_{em}$ , będącej skutkiem spalania może być określone przy wyko-

rzystaniu następującego ogólnego wzoru zamieszczonego w (EMEP/EEA, 2013):

$$\Delta P_{em} = \Delta E_{zc} \cdot PF_{em}, \quad (2)$$

gdzie:

$PF_{em}$  – współczynnik emisji zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza [g/GJ].



**Rys. 1.** Miesięczny uzysk energetyczny z systemu kolektorów słonecznych  
**Fig. 1.** Monthly energy gain from the solar domestic hot water system

Wskaźniki emisji  $PF_{em}$  zastosowane do obliczenia wielkości uwolnień do powietrza substancji takich jak CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, niemetanowe lotne związki organiczne (NMVOC), całkowity pył zawieszony (TSP), PM10, PM2.5 dla obiektów jakimi są elektrociepłownie przyjęto zgodnie z wytycznymi Europejskiej Agencji Środowiska (EMEP/EEA, 2013). Za współczynniki emisji tak zwanych gazów cieplarnianych CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> określono na podstawie danych zawartych w (Gómez i in. 2006). Wartości  $PF_{em}$  oraz  $\Delta P_{em}$  zamieszczono w Tabeli 1.

Aby roczna redukcja emisji zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza, wynikająca z pracy rozpatrywanego systemu solarnego, mogła być wykorzystana w praktyce przez osoby sporządzające podobne analizy postanowiono wprowadzić wskaźnik  $\Delta P_j$ . Wartość tego wskaźnika

(Tabela 1) obliczono dzieląc  $\Delta P_{em}$  przez powierzchnię brutto kolektorów słonecznych, która wynosi  $146 \text{ m}^2$ .

**Tabela 1.** Wyniki obliczeń zmniejszenia rocznej emisji zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza

**Table 1.** The reduction of annual emissions of pollutants released into the air

Rodzaj zanieczyszczenia	$PF_{em}$ [g/GJ]	$\Delta P_{em}$ [g/rok]	$\Delta P_j$ [g/(m <sup>2</sup> rok)]
NO <sub>x</sub>	209	71509	490
CO	8.7	2977	20
NMVOC	1.0	342	2
SO <sub>x</sub>	820	280561	1922
TSP	11.4	3900	27
PM10	7.7	2635	18
PM2.5	3.4	1163	8
CO <sub>2</sub>	98300	33633139	230364
CH <sub>4</sub>	1.0	342	2

W przypadku szacowania redukcji emisji SO<sub>x</sub> i pyłu celowo nie zostały uwzględnione sprawności instalacji odsiarczania i odpylania spalin, ponieważ mogą się znacznie różnić w zależności od przyjętej technologii. Zatem wykonując podobnego typu analizy, w oparciu o wyżej przedstawione wskaźniki  $\Delta P_j$  (Tabela 1), należy uzyskane wyniki przemnożyć przez sprawność instalacji oczyszczania spalin.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Artykuł prezentuje analizę efektu ekologicznego, który jest rezultatem pracy dużego systemu kolektorów słonecznych wspomagających instalację przygotowania ciepłej wody użytkowej. Bazując na współczynnikach emisji zanieczyszczeń zalecanych przez Europejską Agencję Środowiska oraz uzyskowi energetycznemu z badanego systemu solarnego określono zmniejszenie ilości zanieczyszczeń uwalnianych do powietrza.

Zaproponowano nowe wskaźniki  $\Delta P_j$  (Tabela 1), które umożliwiają dokonanie oszacowania efektu ekologicznego na podstawie jedynie znajomości wartości powierzchni brutto paneli słonecznych. Należy jednak nadmienić, że ze względu na różny poziom nasłonecznienia, są one

właściwe dla warunków klimatycznych zbliżonych do tych, które panują w Polsce.

Analizując efekt ekologiczny w ujęciu kompleksowym należy zwrócić uwagę na dwa wymienione poniżej bardzo ważne, a zarazem niezbyt korzystne aspekty. W obiektach wytwarzających przede wszystkim energię elektryczną, takich jak np. elektrociepłownie, brane pod uwagę w prezentowanej analizie, ciepło jest traktowane jako „produkt odpadowy” i w okresie letnim przeważnie powstaje problem z jego utylizacją. Niestety w tym okresie ilość energii konwertowana przez kolektory słoneczne jest największa, co dodatkowo redukuje zapotrzebowanie na ciepło sieciowe. Wpływa to negatywnie na sprawność elektrociepłowni. Po drugie, uzysk energetyczny kolektorów słonecznych jest bardzo mały w okresie zimowym. W tym czasie poziom zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego jest największy ze względu na konieczność ogrzewania budynków.

*Artykuł napisano w ramach realizacji pracy statutowej Katedry Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Białostockiej nr S/WBiIS/4/2014.*

## **Literatura**

- 2009/28/WE (2009). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.
- 2009/29/WE (2009). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych.
- 2009/31/WE (2009). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla.
- 2009/406/WE (2009). Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie wysiłków podjętych przez państwa członkowskie, zmierzających do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych.
- Aman, M.M., Solangi, K.H., Hossain, M.S., Badarudin, A., Jasmon, G.B., Mokhlis, H., Bakar, A.H.A., Kazi, S.N. (2015). A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1190-1204.
- Ardente, F., Beccali, G., Cellura, M., Brano, V.L. (2005). Life cycle assessment of a solar thermal collector: sensitivity analysis, energy and environmental balances. *Renewable Energy*, 30, 109-130.



- Bartnik, R. (2014) Problemy przed jakimi stoi polska energetyka. *XVII Konferencja Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, Zakopane 23-25 lutego 2014.
- Bessa, V.M.T., Prado, R.T.A. (2015). Reduction of carbon dioxide emissions by solar water heating systems and passive technologies in social housing. *Energy Policy*, 83, 138-150.
- EMEP/EEA (2013). *Air pollutant emission inventory guidebook*. European Environment Agency, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Gómez D.R. et al. (2006). *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 2: Energy, Chapter 2 Stationary combustion. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama, Kanagawa, Japan.
- Hang, Y., Qu, M., Zhao, F. (2012). Economic and environmental life cycle analysis of solar hot water systems in the United States. *Energy and Buildings*, 45, 181-188.
- PEP2030 (2010). *Polityka Energetyczna Polski do roku 2030*. Załącznik do uchwały nr 157/2010 Rady Ministrów.
- Yoo, J.-H. (2015). Evaluation of solar hot water heating system applications to high-rise multi-family housing complex based on three years of system operation. *Energy and Buildings*, 101, 54-63.

## **Assessment of the Environmental Effects Resulting from the Use of Solar Collectors**

### **Abstract**

Climate and energy package is a set of rules designed by member states of European Union to combat climate change. According to these directives the greenhouse gas emissions should be reduced by 20% and the share of energy produced from renewable sources should simultaneously be increased by the same percentage.

The use of solar collectors can both improve energy security and reduce the environmental impact caused by the thermal energy industry.

An ability to reduce the pollutants, which can be achieved using devices for converting solar radiation into the heat, was determined in this paper.

The environmental effect, discussed in the present work, is caused by reducing the demand for domestic water heating. This effect results from the application of thermal solar collectors.

The amount of pollutants that are released into the air, emitted from combustion of fuels, was estimated on the basis of the annual energy gain from the solar radiation and emission factors of the selected pollutants recommended

by the European Environment Agency (EEA). Net gain of energy from solar panels was determined on the basis of experimental data.

The object of the study was the solar domestic hot water (SDHW) system located on the roof of the Hotel for the staff of Białystok University of Technology (Poland). Experimental studies were carried out under the project financed by the Regional Operational Program of Podlasie Province – stage 1.1 named “Study of the effectiveness of active and passive methods to improve the energy efficiency of infrastructure supported by renewable energy sources”. The construction of the research object was the target of the stage – 5.2 named “Improving the energy efficiency of Białystok University of Technology infrastructure by use of renewable energy sources” (V. Development of environmental protection infrastructure”).

The system consists of two parallel-connected installations. The first includes 21 tube collectors with a total gross area of more than 74 m<sup>2</sup>. The second unit consists of 35 flat plate collectors with a total gross area of about 72 m<sup>2</sup>. Eight storage tanks with the capacity of 1000 liters each were placed in the basement of the Hotel. The monitoring system was used to record the installation parameters during its operation. It consists of 17 heat meters, 4 electricity recorders, and 42 platinum resistance temperature sensors. The weather station that captures the basic parameters of outside air and insolation is located near the solar collectors. As a result of studies, it was found that the solar system produced 230.61 GJ heat energy throughout the year.

The equation necessary to determine an equivalent amount of energy that is produced in a power plant was presented in this paper. Subsequently, the value of a possible reduction of selected pollutant emissions, which are released into the air, was calculated. Moreover,  $\Delta P_j$  coefficients were proposed for determination of the emissions reduction related to 1 m<sup>2</sup> gross area of a solar panel.

The main conclusions from the assessment of the impact of applying SDHW system to reduce the air pollution in the urban area were presented at the end of the paper.

**Słowa kluczowe:**

kolektory słoneczne, solarny system podgrzewu wody użytkowej, odnawialne źródła energii, zanieczyszczenia powietrza, pakiet klimatyczno-energetyczny

**Keywords:**

solar collectors, solar domestic hot water system, renewable energy sources, air pollutants, climate and energy package