

*Jarosław Dąbrowski, Edward Hutnik, Radosław Tatko
Instytut Budownictwa i Architektury Krajobrazu
Akademia Rolnicza we Wrocławiu*

SZACOWANIE ILOŚCI ENERGII CIEPLNEJ MOŻLIWEJ DO POZYSKANIA PRZEZ KOLEKTORY SŁONECZNE

Streszczenie

Zaprezentowano model matematyczny do szacowania ilości energii cieplnej możliwej do pozyskania przez kolektory słoneczne. Model został opracowany na podstawie dwuletnich badań przeprowadzonych na specjalnie przygotowanym stanowisku badawczym oraz wyników meteorologicznych uzyskanych z Obserwatorium Agri- i Hydrometeorologii Akademii Rolniczej we Wrocławiu-Swojcu. Opracowany model matematyczny umożliwia określenie wielkości pozyskanej energii cieplnej przez kolektory słoneczne dla poszczególnych miesięcy w zależności od dawek dziennych promieniowania całkowitego.

Słowa kluczowe: energia słoneczna, instalacja słoneczna, szacowanie

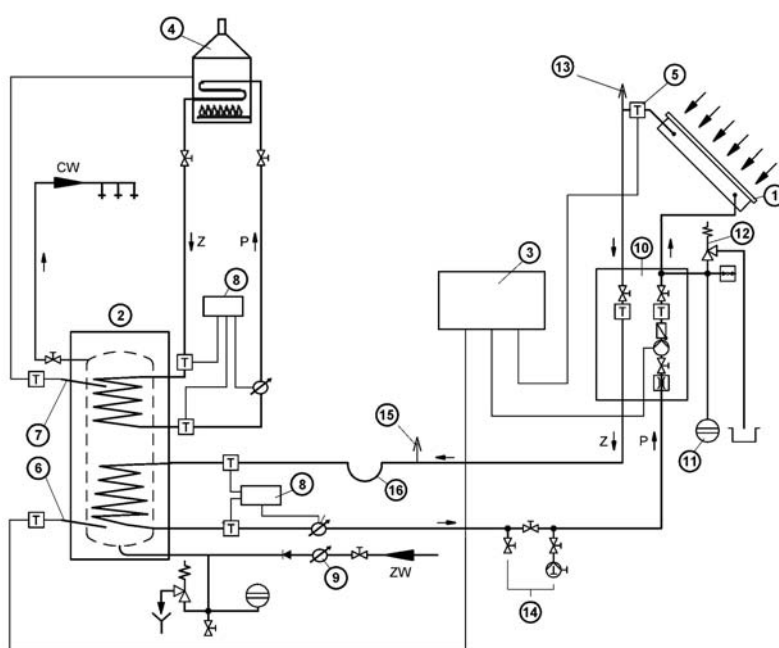
Wprowadzenie

Rolnictwo charakteryzuje się dużym zapotrzebowaniem na niskotemperaturowe źródła energii, szczególnie do podgrzewania wody użytkowej do takich celów jak: produkcja zwierzęca, przetwórstwo rolno – spożywcze, produkcja warzyw pod osłonami i do celów bytowo – sanitarnych. W związku z postępującym wzrostem cen energii konwencjonalnej, a zarazem potrzebą ochrony środowiska, coraz bardziej uzasadnione staje się stosowanie ekologicznie czystych źródeł energii. Jednym z takich źródeł możliwych do zastosowania jest energia promieniowania słonecznego. Energia promieniowania słonecznego może być efektywnie wykorzystywana do podgrzewania wody użytkowej m.in. poprzez zastosowanie instalacji słonecznej z płaskimi kolektorami cieczowymi.

Cel badań

Celem głównym badań było określenie możliwości wykorzystania kolektorów słonecznych do podgrzewania wody użytkowej w budynkach mieszkalnych gospodarstw rolnych, w skali roku, przy występujących lokalnych warunkach pogodowych. Wykorzystując dane meteorologiczne uzyskane z Obserwatorium

Agro- i Hydrometeorologii Akademii Rolniczej we Wrocławiu – Swojec oraz pomiary otrzymane na stanowisku badawczym, został opracowany model matematyczny możliwości pozyskania energii cieplnej przez kolektory słoneczne dla poszczególnych miesięcy. Na podstawie dziennych dawek promieniowania całkowitego, przy wykorzystaniu tego modelu, istnieje możliwość szacowania dla poszczególnych miesięcy ilości energii cieplnej, którą kolektory słoneczne mogłyby przechwycić i wykorzystać do podgrzania wody użytkowej.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1-kolektory, 2-dwusystemowy podgrzewacz c.w.u., 3-moduł sterujący, 4-kocioł, 5-czujnik temp. czynnika w kolektorze, 6-czujnik temp. w dolnej części podgrzewacza, 7-czujnik temp. w górnej części podgrzewacza, 8-ciepłomierz, 9-wodomierz, 10-zespół pompowy, 11-naczynie wzbiorcze, 12-zawór bezpieczeństwa, 13-odpowietrznik, 14-armatura do napełniania instalacji, 15-separator powietrza, 16-pętla termoizolacyjna

Fig. 1. Research station diagram: 1-collectors, 2-system domestic hot water heater, 3-control module, 4-boiler, 5-medium temperature sensor in a collector, 6- temperature sensor in a bottom part of the heater, 7- temperature sensor in a top part of the heater, 8-heat meter, 9-water meter, 10-pump set, 11-rising vessel, 12-safety valve, 13-vent, 14-fittings for filling of the installation, 15-air separator, 16-thermoinsulation loop

Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze (schemat na rys. 1) zlokalizowano we wsi Kamieniec Wrocławski w domu jednorodzinnym. Dwa kolektory cieczowe płytowe zainstalowano na południowej połaci dachu budynku, nachylonej pod kątem 42° do powierzchni terenu. Budynek obrócony jest w kierunku wschodnim o $11,5^\circ$ względem południa. Na podstawie literatury problemowej [Kaiser 1995] jest to optymalne położenie kolektorów, dla pozyskiwania energii w cyklu dwunastomiesięcznym. Instalacja badawcza zbudowana została z kompletnego typowego systemu solarnego, kotła gazowego i specjalnego oprzyrządowania oraz aparatury pomiarowej.

Metodyka badań

Badania prowadzone były na stanowisku badawczym i w Obserwatorium Wrocław – Swojec przez okres dwóch lat (2002 i 2003). Odczyty z ciepłomierzy przeprowadzane były codziennie o godzinie 22⁰⁰. Natomiast wyniki promieniowania całkowitego, usłonecznienia i temperatury średniej dobowej uzyskano z Obserwatorium Wrocław – Swojec, położonego niecałe 4200 m od stanowiska badawczego w linii prostej.

Pierwszym etapem budowania modelu było wybranie parametru najlepiej opisującego dany model. Wykorzystano tutaj analizę korelacji aby sprawdzić, który parametr ma największy wpływ na ilość pozyskiwania energii cieplnej przez kolektory. Badano korelacje pomiędzy energią cieplną pozyskaną przez kolektory a różnymi zmiennymi meteorologicznymi dla poszczególnych miesięcy (tab. 1). Stwierdzono na podstawie otrzymanych wyników, że ilość energii cieplnej pozyskanej przez kolektory słoneczne najsilniej zależy od energii promieniowania całkowitego.

Zagadnienie tworzenia modelu, który jest opisany w artykule, wymaga wyboru pewnego modelu opisującego rzeczywistość, następnie wymaga estymacji parametrów do danego modelu. W końcowym etapie dokonano wyboru najlepszego modelu.

Opracowane modele to:

- Model liniowy z jedną zmienną. Odzwierciedla prostą zależność pomiędzy dwoma parametrami.
- Model kwadratowy. Odzwierciedla zależność pomiędzy dwoma parametrami przy wykorzystaniu funkcji kwadratowej.

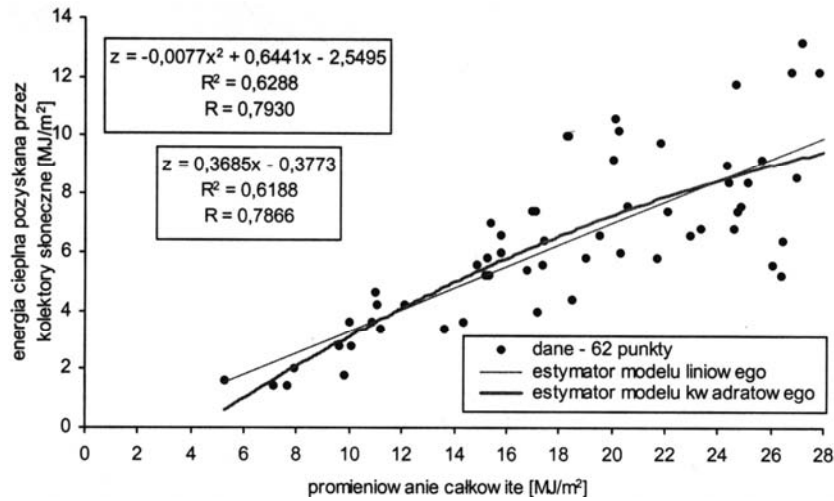
Tabela 1. Współczynniki korelacji pomiędzy ilością energii dostarczonej przez kolektory a różnymi zmiennymi meteorologicznymi dla miesięcy od stycznia do grudnia 2002 r. i 2003 r.

Table 1. Correlations among amount of energy supplied by commutators and different alternate meteorological for months from January to December 2002 and 2003

Miesiąc	Współczynniki korelacji R pomiędzy parametrem a ilością energii cieplnej dostarczonej przez kolektory		
	Promieniowanie całkowite zmierzone w Obserwatorium	Usłonecznienie zmierzone w Obserwatorium	Średnia dobową temperatura zmierzona w Obserwatorium
Styczeń	0,9131	0,9429	0,1905
Luty	0,9446	0,9603	0,1634
Marzec	0,9520	0,9384	0,1652
Kwiecień	0,9191	0,8548	0,2822
Maj	0,7141	0,6089	0,1682
Czerwiec	0,5782	0,4567	0,4354
Lipiec	0,7866	0,6953	0,4474
Sierpień	0,7033	0,6596	0,3008
Wrzesień	0,8769	0,8351	0,3747
Październik	0,9032	0,8767	0,1216
Listopad	0,8879	0,8573	0,0160
Grudzień	0,9228	0,7367	0,1644
Średnia	0,8418	0,7852	0,2358

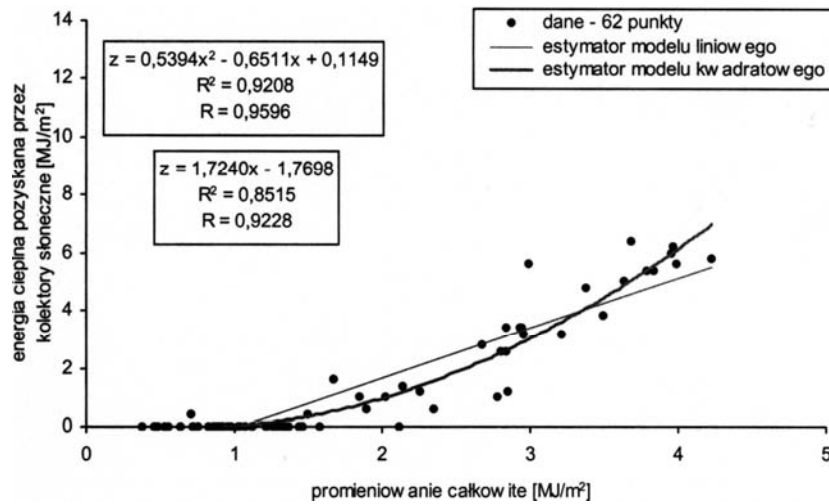
Analiza wyników

Przy rozstrzygnięciu jak wygląda zależność pomiędzy energią promieniowania całkowitego zmierzoną w Obserwatorium Wrocław – Swojec a ilością energii cieplnej pozyskanej przez 1m² powierzchni kolektorów słonecznych dla każdego miesiąca, określono tą współzależność w trakcie danego miesiąca (dwa przykładowe rysunki dla lipca i grudnia, rys. 2 i 3).



Rys. 2. Zależność pomiędzy promieniowaniem całkowitym a energią cieplną pozyskaną przez kolektory dla lipca 2002 r. i 2003 r.

Fig. 2. Relation between all-out radiation and thermal energy won by collectors for July 2002 and 2003



Rys. 3. Zależność pomiędzy promieniowaniem całkowitym a energią cieplną pozyskaną przez kolektory dla grudnia 2002 r. i 2003 r.

Fig. 3. Relation between all-out radiation and thermal energy won by collectors for December 2002 and 2003

Jarosław Dąbrowski, Edward Hutnik, Radosław Tatko

Zależność pomiędzy energią promieniowania całkowitego a energią cieplną pozyskaną przez kolektory można opisać modelem zakładającym zależność liniową (1) oraz kwadratową (2).

$$Z = a X + b \quad (1)$$

$$Z = a X^2 + b X + c \quad (2)$$

gdzie:

- Z – energia cieplna pozyskana przez kolektory słoneczne,
- X – ilość energii promieniowania całkowitego zmierzona w Obserwatorium Wrocław – Swojec.

Dla każdego z modeli zostały wyestymowane współczynniki a, b i c (tab. 2) dla danego miesiąca a następnie zostały uśrednione wartości odpowiednio dla tych samych miesięcy 2002 r. i 2003 r.

Tabela 2. Współczynniki zależności kwadratowej pomiędzy energią promieniowania całkowitego a energią cieplną pozyskaną przez kolektory słoneczne (1m²)

Table 2. Rations of square dependences between energy of all-out radiation and thermal energy won by sunny commutators (1m²)

Miesiąc	Współczynnik				
	Funkcja kwadratowa			Funkcja liniowa	
	a	b	c	a	b
Styczeń	0,2550	0,1399	-0,5324	1,6062	-2,0386
Luty	0,0043	1,2239	-2,4289	1,2731	-2,5374
Marzec	-0,0052	1,0595	-3,0395	0,9615	-2,6766
Kwiecień	-0,0057	0,8101	-2,8436	0,6585	-1,9967
Maj	-0,0093	0,7025	-2,3588	0,3681	0,2859
Czerwiec	-0,0235	1,1602	-6,4368	0,2341	1,5520
Lipiec	-0,0077	0,6441	-2,5495	0,3685	-0,3773
Sierpień	-0,0082	0,6358	-1,3238	0,3801	0,4085
Wrzesień	-0,0170	1,0804	-3,4963	0,7059	-1,8145
Październik	-0,0025	0,9640	-2,0177	0,9325	-1,9411
Listopad	0,0977	0,7730	-1,1538	1,4303	-1,9556
Grudzień	0,5394	-0,6511	0,1149	1,7240	-1,7698

Końcowym krokiem analizy jest weryfikacja, który model okazał się najlepszy. Na tym etapie można posłużyć się dwoma kryteriami, porównując szum pozostały po dopasowaniu modelu oraz prognozy. Szum pozostały po dopasowaniu modelu to różnica pomiędzy rzeczywistymi parametrami obiektów poddanych analizie a przewidzianymi modelem wartościami. Jest to suma kwadratów odległości pomiędzy krzywą regresji a punktem opisującym dany obiekt. Natomiast drugim kryterium jest porównanie jakości predykcji. Mając określony model, można wyznaczać dla obiektów nie biorących udział w analizie pewne ich cechy, a następnie porównywać te wyestymowane cechy z rzeczywistymi wartościami danych obiektów. Różnica to błąd, który również należy minimalizować.

Model kwadratowy posiada niższy szum (ΣS z dwunastu miesięcy dla modelu kwadratowego wyniosła 137,079 natomiast dla modelu liniowego 143,377) dla wszystkich rozpatrywanych dwunastu miesięcy, przez co lepiej opisuje dane. Właściwą decyzją w takim razie wydaje się wybranie tego modelu.

Porównano jeszcze oba modele ze względu na inną cechę, mianowicie prognozy. Posiadane dane zawierają informację o promieniowaniu całkowitym i pozyskanej ilości energii cieplnej przez kolektory słoneczne dla dwóch miesięcy: listopada i grudnia 2001 r. Dla tych miesięcy, można sprawdzić czy z użyciem wcześniej otrzymanych współczynników uda nam się przewidzieć wartości energii pozyskanej przez kolektory. Wykonano szacunki dla każdego z modeli (tab. 3). Prognoza dla modelu kwadratowego okazała się ponad trzykrotnie skuteczniejsza dla grudnia i nieznacznie skuteczniejsza dla listopada. Oznacza to, że również to kryterium wskazuje na wybór modelu kwadratowego.

Tabela 3. Szacunek i błąd predykcji dla modelu liniowego i kwadratowego
Table. 3. Estimation and prediction error for linear and square model

Wyszczególnienie	Miesiąc			
	Model liniowy		Model kwadratowy	
	XI 2001	XII 2001	XI 2001	XII 2001
Pozyskana energia cieplna przez kolektory słoneczne	299,00 MJ	109,00 MJ	299,00 MJ	109,00 MJ
Szacunek pozyskania energii cieplnej przez kolektory słon.	345,69 MJ	195,40 MJ	335,25 MJ	137,06 MJ
Błąd	15,6 %	79,3 %	12,1 %	25,7 %

Wnioski

Analizując ilość pozyskiwanej energii cieplnej przez kolektory słoneczne zaproponowano model matematyczny w oparciu o znane wartości promieniowania całkowitego. Model ten służy do szacowania ilości energii cieplnej pozyskanej przez kolektory słoneczne w poszczególnych miesiącach roku. Weryfikacja modelu potwierdziła jego prawidłowość. Ze stwierdzonej prawidłowości wynika, że model opisujący przyjęte współzależności (średni miesięczny współczynnik determinacji dla krzywych wyniósł $R^2 = 0,75$ przy średnim miesięcznym współczynniku korelacji $R = 0,86$) może znaleźć praktyczne zastosowanie przy ocenie przydatności nowoprojektowanych i istniejących instalacji słonecznych.

Bibliografia

Kaiser H. 1995. Wykorzystanie energii słonecznej. AGH, Kraków

Konecki W. 1999. Statystyka dla inżynierów. PWN, Warszawa

Smolec W. 2000. Fototermiczna konwersja energii słonecznej. PWN, Warszawa

VALUATION OF AMOUNT OF THERMAL ENERGY POSSIBLE TO BE WON BY SUNNY COMMUTATORS

Summary

In the article I presented a mathematical model to forecast the amount of heat energy possible to be gained by sun collectors. The model is described on the basis of a two-year research done in a carefully prepared workplace as well as on the basis of the meteorological results which I got from the Observatory of Agricultural Meteorology and Hydrometeorology at Agricultural Academy Department in Wrocław – Swojec. The described mathematical model makes it possible to determine proportions of heat energy gained by sun collectors during particular months, depending on daily doses of full radiation.

Key words: sunny energy, sunny installation, valuation