

WYKORZYSTANIE ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO DO OGRZEWANIA BUDYNKÓW W POLSKICH WARUNKACH KLIMATYCZNYCH – ANALIZA REALIZOWANA PRZY WYKORZYSTANIU PROGRAMU SYMULACYJNEGO

THE POSSIBILITY OF USING SOLAR SPACE HEATING IN POLISH SOLAR CONDITIONS - ANALYSIS ON A BASE OF SIMULATION PROGRAM

M. Chwieduk¹, J. Bigorajski¹

1. Instytut Techniki Ciepłej, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska, Warszawa

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki symulacji działania systemów, wspomagających ogrzewanie budynków, wykorzystujących instalacje kolektorów słonecznych. Krótko opisano program PWSun wykorzystany do przeprowadzenia symulacji. Rozważono instalacje o różnej wielkości (różnej powierzchni kolektorów słonecznych oraz różnej pojemności zasobników) współpracujące z nisko-temperaturowymi systemami ogrzewania budynków. Zestawiono udziały energii słonecznej w pokryciu zapotrzebowania na c.w.u. oraz c.o. w budynkach o różnym zapotrzebowaniu na ciepło do ogrzewania.

ABSTRACT

The paper presents results of simulation studies of solar thermal combi systems for space heating. PWSun program used to carry out simulation is briefly described. Different sizes of solar systems (different area of solar collectors and different volumes of storage tanks) coupled to low temperature space heating systems were considered. As a result shares of solar energy in meeting demand for domestic hot water and space heating, of buildings of different thermal energy performance are presented.

WPROWADZENIE

Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego do ogrzewania budynków nie jest ideą nową, techniczna jej realizacja jest od wielu lat możliwa. Wysoko energetyczne budownictwo realizowane w Polsce przez szereg lat powodowało jednak, że idea ta nie mogła być racjonalnie zaimplementowana. Wejście Polski do Unii Europejskiej i związana z nim konieczność realizacji zobowiązań dotyczących efektywności energetycznej oraz niskoenergetycznego budownictwa spowodowały, że ogrzewanie budynku przy wykorzystaniu energii promieniowania słonecznego stało się uzasadnione.

Od roku 2009 do roku 2015 w Polsce nowo powstające budynki oraz budynki zmieniające właściciela musiały posiadać świadectwo charakterystyki energetycznej. Przepis ten wprowadziła znowelizowana ustawa Prawo Budowlane, która z kolei realizowała wymogi Dyrektywy 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego z dnia 16 grudnia 2002. Konieczność posiadania świadectwa charakterystyki energetycznej budynku wymuszało na właścicielu lub inwestorze rozsądne podejście do kwestii zapotrzebowania budynku na energię. Aktualnie wymóg posiadania świadectwa charakterystyki energetycznej budynku nie dotyczy budynków jednorodzinnych przeznaczonych na użytek własny. Wszystkie nowopowstające budynki muszą w fazie projektowej spełniać nowe warunki techniczne dotyczące przyszłego zużycia energii pierwotnej. Od 1 stycznia 2014 roku budynki jednorodzinne powinny posiadać wartości cząstkowego wskaźnika energii pierwotnej na potrzeby ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej poniżej 120 kWh/m²/rok. W latach 2017 i 2021 wskaźnik ten będzie obniżany do wartości odpowiednio 95 oraz 70 kWh/m²/rok. [Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 roku].

Zmiany warunków technicznych pozwalają na skuteczne obniżanie zużycia energii pierwotnej na potrzeby ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej, istnieją również finansowe mechanizmy wspierania budownictwa energooszczędnego. Wśród nich program priorytetowy Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej dofinansowujący budynki o standardzie NF40 i NF15 [Program priorytetowy Poprawa efektywności energetycznej. Część 2) Dopłaty do kredytów na budowę domów energooszczędnych]. Standardy te odnoszą się do wielkości zapotrzebowania budynków mieszkalnych jedno i wielorodzinnych na energię użytkową wyłącznie do celów ogrzewania i wentylacji (odpowiednio 40 i 15 kWh/m²/rok). Wymienione wskaźniki obliczane są na podstawie

normy PN EN 13790 : 2009 metodą miesięczną lub godzinową.

Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego może odbywać się w sposób aktywny lub pasywny. Pasywne wykorzystanie energii promieniowania słonecznego polega na odpowiednim ukształtowaniu bryły budynku, wykorzystaniu powierzchni przeszklonych tak, aby maksymalnie wykorzystać bezpośrednie zyski od promieniowania słonecznego w bilansie energetycznym budynku. Systemy aktywne to systemy, w których poprzez użycie odpowiednich elementów energia promieniowania słonecznego zamieniana jest na ciepło użyteczne [Chwieduk D., 2011]. Do systemów takich zaliczyć można systemy z instalacją kolektorów słonecznych, w których wytworzona energia może zostać wykorzystana na potrzeby ogrzewania pomieszczeń.

Redukcja zużycia energii do ogrzewania budynków powoduje, że coraz większy udział w całkowitym zapotrzebowaniu na energię w budynku ma zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową. Redukcję wskaźnika zużycia energii pierwotnej, dla tego elementu bilansu, w prosty sposób można uzyskać poprzez wykorzystanie instalacji kolektorów słonecznych. Zastosowanie systemu umożliwiającego wykorzystanie energii słonecznej również na potrzeby ogrzewania budynku pozwala na jeszcze większą redukcję wskaźnika zużycia energii pierwotnej ze źródeł nieodnawialnych. Jednocześnie przy relatywnie niskim zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania, ciepło użyteczne z instalacji kolektorów może mieć znaczący udział w pokryciu zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynku.

Zastosowanie instalacji kolektorów słonecznych, która pokrywa zapotrzebowanie na c.w.u. oraz wspomaga ogrzewanie pomieszczeń jest korzystne nie tylko w aspekcie finansowym, generuje bowiem znaczne oszczędności dla gospodarstwa domowego, ale również w aspekcie ochrony środowiska. Zastosowanie słonecznej instalacji grzewczej, zamiast instalacji wykorzystującej paliwa kopalne, znacznie ogranicza emisję szkodliwych substancji do atmosfery. Fakt ten nie pozostaje bez znaczenia dla jakości powietrza w Polsce, bowiem indywidualne ogrzewanie budynków odpowiada w [Projekt Krajowego Programu Ochrony Powietrza w Polsce, 2015]:

- 88,2% za przekroczenie dopuszczalnego poziomu pyłu PM10 w powietrzu;
- 86,5% za przekroczenie dopuszczalnego poziomu pyłu PM2,5 w powietrzu;
- 98% za przekroczenie dopuszczalnego poziomu benzo(a)pirenu w powietrzu.

PM10 oraz PM2,5 są to frakcje pyłu o bardzo małych rozmiarach, odpowiednio do 10µm oraz do 2,5µm. Ziarna pyłu o takiej wielkości są na tyle małe że mogą przenikać głęboko do płuc. Szczególnie szkodliwy jest pył o średnicy mniejszej niż 2,5µm, pyły te poprzez płuca mogą docierać do krwioobiegu. Natomiast benzopiren jest substancją rakotwórczą.

Zmniejszenie wykorzystania konwencjonalnych kotłów węglowych, poprzez stosowanie grzewczych instalacji słonecznych, może więc przynieść nie tylko znaczące oszczędności w budżecie domowym, ale również pozytywnie wpłynąć na jakość powietrza w naszym kraju.

SYSTEMY SŁONECZNEGO OGRZEWANIA

W zależności od funkcji jaką pełni instalacja słoneczna jej konstrukcja może być mniej lub bardziej skomplikowana. Najbardziej rozpowszechnione i dopracowane technicznie są systemy służące wyłącznie do przygotowania c.w.u. [Chwieduk D., 2011]. Systemy dwufunkcyjne tzw. instalacje kombi, czyli zapewniające c.w.u. oraz wspomagające c.o. są mniej popularne. W polskim klimacie instalacje słoneczne nie są w stanie w pełni pokryć zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń. Z tego względu zazwyczaj takie instalacje słoneczne posiadają dodatkowe źródło ciepła np. grzałkę elektryczną, pompę ciepła lub kocioł konwencjonalny wykorzystujący jako paliwo: węgiel kamienny, gaz ziemny lub olej opałowy. W zależności od warunków nasłonecznienia i odbioru ciepła drugie źródło ciepła pełni rolę źródła podstawowego lub szczytowego [Chwieduk D., 2011]. Przykład instalacji słonecznej z konwencjonalnym dodatkowym źródłem ciepła został zaprezentowany na rysunku 1.

W zasobnikach ciepła najczęściej wykorzystywane jest zjawisko stratyfikacji ciepła, polegające na rozwarstwieniu termicznym w zbiorniku magazynującym. W dolnej części zbiornika temperatura wody jest najniższa i rośnie wraz z wysokością zbiornika magazynującego. Zjawisko to jest korzystne, ponieważ możliwe jest dopasowanie odbioru wody do wymagań temperaturowych. Gdy występuje sytuacja, w której mamy kilka odbiorów ciepła zróżnicowanych temperaturowo w zbiorniku magazynującym może znajdować się kilka punktów odbioru ciepłej wody, tak jak to zaprezentowano na rysunku 1. W najwyższym punkcie zbiornika umiejscowiony jest odbiór wody do systemu c.w.u., natomiast w środkowej części zbiornika znajduje się punkt odbioru do zasilania niskotemperaturowego systemu c.o. np. ogrzewania podłogowego.

W zaprezentowanej na rysunku 1 instalacji w zbiorniku magazynującym (numer 3) umieszczone są węzownice. W dolnej węzownicy dostarczana jest woda o niższej temperaturze (z pętli kolektorowej), w górnej zaś o temperaturze wyższej (ze źródła konwencjonalnego i ewentualnie z pętli kolektorów). Zbiornik magazynujący (numer 6) pełni w tego typu instalacji funkcję zasobnika słonecznego (buforowego), z kolei drugi zbiornik (numer 3) pełni rolę głównego zasobnika wody grzewczej.

W przypadku, gdy kolektory słoneczne nie są w stanie zapewnić odpowiedniej temperatury wody

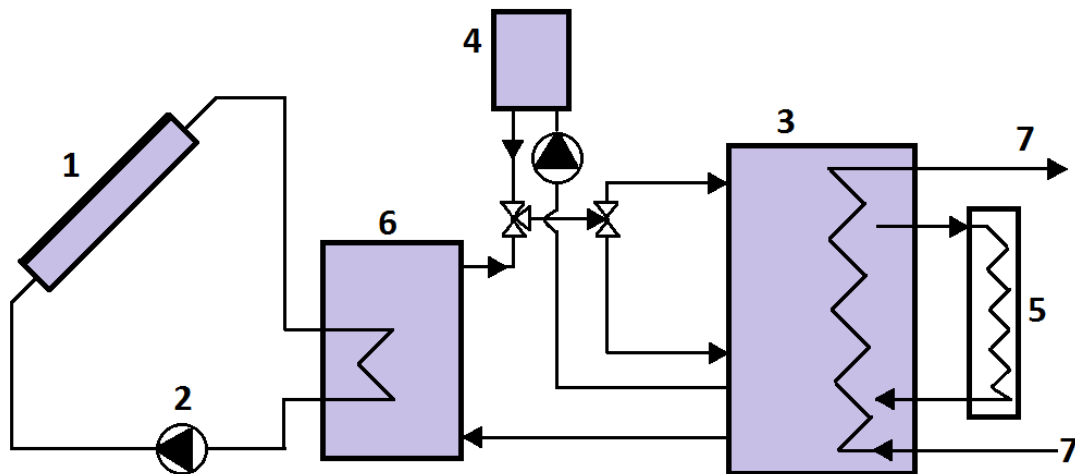
w zbiorniku magazynującym wykorzystywane jest dodatkowe konwencjonalne źródło ciepła (numer 4). Możliwe jest też rozwiązanie, w którym stosuje się tylko zbiornik główny. Schemat takiej instalacji został zaprezentowany na rysunku 2. W tego typu rozwiązaniach najczęściej wewnątrz zbiornika jest wydzielony oddzielny mniejszy zbiornik przeznaczony na cele c.w.u. W takim przypadku inaczej funkcjonuje również dodatkowe konwencjonalne źródło ciepła (numer 4). Pełni ono funkcję podgrzewacza przepływowego.

W polskich warunkach instalacja słoneczna typu kombi (c.o. + c.w.u.) powinna mieć o około 30% większą powierzchnię kolektorów słonecznych w porównaniu z instalacją kolektorów słonecznych, która pokrywa wyłącznie zapotrzebowanie na c.w.u. [Weiss W., 2007]. Maksymalny udział w pokryciu zapotrzebowania na ciepło w instalacjach typu kombi w polskim klimacie wynosi 30%, natomiast uzysk

może wynosić od 450 do 550 kWh/m²/rok [Weiss W., 2007].

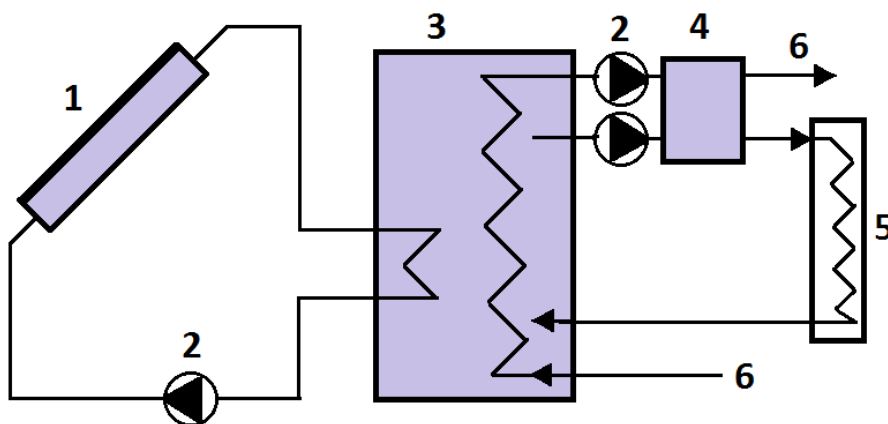
PROGRAM SYMULACYJNY - PWSUN

W Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej w ramach realizacji projektu POIG 01.01.02-10-06/09-01, PT7, T3 został stworzony program komputerowy - PWSun przeznaczony do symulacji funkcjonowania i wymiarowania słonecznych systemów grzewczych, do podgrzewania ciepłej wody użytkowej oraz systemów typu kombi, tj. systemów c.w.u. i wspomagania centralnego ogrzewania. Oprogramowanie to zostało stworzone w środowisku Visual Basic 2010. PWSun został stworzony z myślą o zwykłych użytkownikach, nieposiadających specjalistycznej wiedzy z zakresu techniki słonecznej, mechaniki płynów oraz wymiany ciepła niezbędnej do przeprowadzania symulacji pracy grzewczych instalacji słonecznych..



1 - kolektor słoneczny, 2 - pompa cyrkulacyjna, 3 - zbiornik główny, 4 - drugie źródło ciepła np. kocioł, 5 - układ grzewczy c.o., 6 - zasobnik słoneczny (buforowy), 7 - układ c.w.u

Rysunek 1. Słoneczna instalacja grzewcza c.o. i c.w.u., system słoneczny + kocioł, wg [Chwieduk D., 2005]



1 - kolektor słoneczny, 2 - pompa cyrkulacyjna, 3 - zbiornik, 4 - drugie źródło ciepła np. kocioł, 5 - układ grzewczy c.o., 6 - układ c.w.u

Rysunek 2. Słoneczna instalacja grzewcza c.o. i c.w.u. z częścią słoneczną systemu bez zbiornika magazynującego,

W związku z tym stworzony program umożliwia zarówno wprowadzanie przez użytkownika własnych danych potrzebnych do symulacji działania instalacji, jak i korzystanie z domyślnych wartości parametrów, zapisanych w bazie danych programu. Jako dane wejściowe pogodowe wykorzystano temperaturę powietrza zewnętrznego, napromieniowanie całkowite i jego składowe dla 19 regionów kraju. [Strona internetowa Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju]

Natężenie promieniowania półsferycznego padającego na płaszczyznę odbiornika o danej orientacji i pochyleniu jest w programie wyznaczane za pomocą modelu izotropowego promieniowania słonecznego dyfuzyjnego (model Liu-Jordana). Zgodnie z teorią Liu-Jordana godzinne napromieniowanie słoneczne I_c docierające na powierzchnię odbiornika pochyłoną pod kątem β do poziomu zawiera trzy składowe:

- promieniowanie bezpośrednie;
- promieniowanie rozproszone;
- promieniowanie odbite od otoczenia.

Równanie opisujące napromieniowanie słoneczne I_c docierające na powierzchnię odbiornika pochyłoną pod kątem β do poziomu ma następującą postać [Chwieduk D., 2011]:

$$I_c(t) = I_b(t)R_b(t) + I_d(t)R_d + (I_b(t) + I_d(t))\rho_r R_r \quad (1)$$

gdzie:

$I_b(t)$ - napromieniowanie godz. bezpośrednie [kJ/m^2];
 $I_d(t)$ - napromieniowanie godz. dyfuzyjne [kJ/m^2];
 $R_b(t)$ - współczynnik korekcyjny dla promieniowania bezpośredniego;
 R_d - współczynnik korekcyjny dla promieniowania rozproszonego;
 ρ_r - refleksyjność podłoża;
 R_r - współczynnik korekcyjny dla promieniowania odbitego.

Moc użyteczna kolektorów słonecznych jest w programie wyznaczana na podstawie zależności Hotella – Whiliera – Bliss [Duffie J.A., 1999]. Postać tego równania uwzględniająca sprawność optyczną kolektora oraz współczynniki strat ciepła jest następująca:

$$\dot{Q}_u = A_c[\eta_o I_c - a_1(T_m - T_a) - a_2(T_m - T_a)^2] \quad (2)$$

gdzie:

\dot{Q}_u - moc użyteczna kolektorów słonecznych [W];
 A_c - pow. czynna kolektorów słonecznych [m^2];
 η_o - sprawność optyczna;
 a_1 - współczynnik strat ciepła [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$];
 a_2 - współczynnik strat ciepła zależny od temperatury [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$].

Symulacja działania instalacji uwzględnia dwa rodzaje kolektorów słonecznych (płaskie i próżniowe) oraz dwa warianty zbiornika magazynującego (ze stratyfikacją ciepła lub z pełnym mieszaniem). W przypadku zbiornika magazynującego ze

stratyfikacją termiczną zastosowano model wielosekcyjny zbiornika magazynującego [Duffie J.A., 1999]. Zbiornik został podzielony na 3 warstwy o temperaturze jednolitej w całej objętości danej warstwy. Ogólny bilans energetyczny dla i-tej warstwy zbiornika został określony następującym równaniem:

$$m_i c_w \frac{dT_{s,i}}{dt} = \dot{Q}_k + \dot{Q}_L - \dot{Q}_{str} + \dot{Q}_M \quad (3)$$

gdzie:

\dot{Q}_k - strumień ciepła z kolektora słonecznego [W];
 \dot{Q}_L - strumień ciepła powracający z pętli c.o. [W];
 \dot{Q}_{str} - strumień ciepła tracony do otoczenia [W];
 \dot{Q}_M - strumień ciepła z sąsiadujących warstw [W];
 c_w - ciepło właściwe wody [$\text{J}/(\text{kgK})$];
 $T_{s,i}$ - temperatura i-tej warstwy [K];
 t - czas [s];
 m_i - masa wody w i-tej warstwie [kg].

Program PWSun wyznacza udział energii promieniowania słonecznego przy pokrywaniu potrzeb grzewczych użytkownika dla różnych konfiguracji instalacji, zarówno dla c.w.u. jak i ogrzewania pomieszczeń. W programie założono dobowy profil rozbiór c.w.u. Użytkownik programu może dowolnie wybrać temperaturę do jakiej podgrzewana jest c.w.u., średnie dobowe zużycie c.w.u. na mieszkańca oraz liczbę mieszkańców. Z kolei ogrzewany budynek został scharakteryzowany przez trzy parametry: jednostkowe roczne zapotrzebowanie na ciepło [$\text{kWh}/\text{m}^2/\text{rok}$], ogrzewaną powierzchnię [m^2] oraz stałą czasową budynku [h]. Wszystkie te parametry można znaleźć w świadectwie charakterystyki energetycznej budynku.

Do wyznaczenia zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania w poszczególnych godzinach w modelu wykorzystano metodę stopniogodzin [Day, 2008]. Stopniogodzina to różnica pomiędzy temperaturą utrzymywaną wewnątrz budynku, a temperaturą otoczenia w danej godzinie. Metoda ta polega na wyznaczeniu dla każdej godziny różnicy temperatur pomiędzy otoczeniem budynku a wnętrzem budynku. Następnie sumuje się stopniogodziny dla całego sezonu ogrzewczego i przypisuje konkretnej godzinie zapotrzebowanie na ciepło do celów grzewczych proporcjonalne do liczby stopniogodzin w tej godzinie [Day T., 2006].

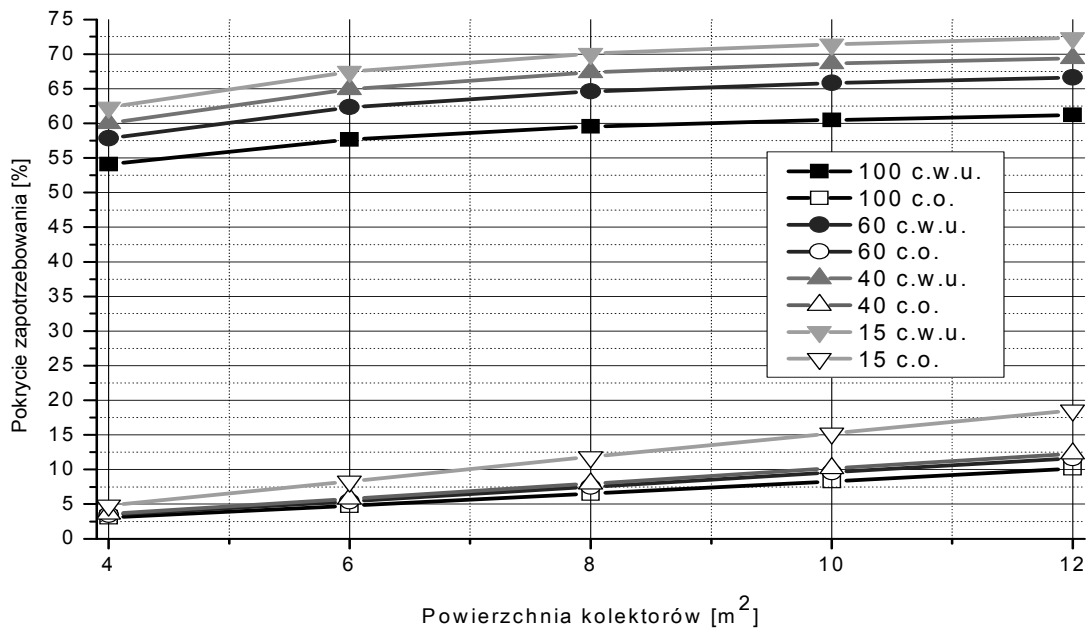
Program PW Sun przeprowadza również uproszczoną analizę ekonomiczną, w sposób statyczny i dynamiczny. Stworzony program oblicza również uzyskany efekt ekologiczny, który jest charakteryzowany poprzez wartość unikniętej emisji dwutlenku węgla [Chwieduk D., 2013].

SYMULACJE PRACY INSTALACJI SŁONECZNYCH WSPOMAGAJĄCYCH OGRZEWANIE BUDYNKÓW

Opisany program PWSun użyty został do symulacji działania różnych systemów kolektorów słonecznych wspomagających ogrzewanie, wszystkie przedstawione wyniki uzyskano przy jego wykorzystaniu. Zastosowano typ instalacji pokazany na rysunku 2. Ogrzewanie z wykorzystaniem instalacji kolektorów słonecznych powinno być realizowane jedynie w budynkach posiadających niskotemperaturowe systemy ogrzewania (np. ogrzewanie podłogowe). Wysokie temperatury zasilania i powrotu z instalacji c.o. powodują, że niewielka ilość energii słonecznej dostępna w okresie zimowym nie zostanie wykorzystana. Przeanalizowany został budynek o powierzchni 150 m², jednostkowym zapotrzebowaniem na energię do ogrzewania i wentylacji w wysokości 100 kWh/(m²rok) oraz zapotrzebowania na c.w.u. 2973 kWh/rok. System ogrzewania wymaga temperatury na zasilaniu 65°C oraz temperatury na powrocie około 45°C. Instalacja kolektorów słonecznych płaskich o powierzchni 10 m² oraz zasobniku 700 l powinna pokryć zapotrzebowanie na c.w.u. w 73,3% (2181 kWh), natomiast zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania pomieszczeń w 2,31% (347 kWh). W identycznym budynku z systemem centralnego ogrzewania wymagającym temperatury zasilania 35°C oraz powrotu około 22°C, ta sama instalacja pokryje zapotrzebowanie na c.w.u. w 61,5% (1827 kWh), natomiast zapotrzebowanie na

ciepło do ogrzewania pomieszczeń w 7,85% (1177 kWh).

Kolejne symulacje wykonano przy założeniu wykorzystania ogrzewania podłogowego, temperatura zasilania 35°C, temperatura powrotu 22°C. Dla identycznych założeń dotyczących powierzchni budynku oraz zapotrzebowania na c.w.u. przeprowadzono obliczenia zmieniając wielkość instalacji (powierzchnię kolektorów słonecznych i pojemność zasobnika) oraz zapotrzebowania na energię do ogrzewania i wentylacji w budynku (100, 60, 40, 15 kWh/m²/rok). Na rysunku 3 przedstawiono udział pokrycia zapotrzebowania na c.w.u. i c.o. w przypadku różnych budynków oraz różnej wielkości instalacji. Pokrycie zapotrzebowania na potrzeby c.w.u. w każdym z przypadków przekracza 50%. W budynkach o niskim zapotrzebowaniu na ciepło do ogrzewania wartości te są wyższe i przekraczają 60%. Wraz ze zwiększaniem wielkości instalacji rośnie zarówno udział pokrycia zapotrzebowania na c.w.u. jak i c.o.. Jednak wzrost ten w przypadku c.w.u. jest coraz mniejszy, a w przypadku c.o. rośnie niemal liniowo. Uzyski energetyczne jednostkowe z kolektorów słonecznych maleją przy wykorzystaniu w budynkach o niższym zapotrzebowaniu na c.o., głównie za sprawą mniejszego zapotrzebowania na ciepło w okresach przejściowych wiosna, jesień. W tabeli 1 zestawiono jednostkowe uzyski energetyczne dla instalacji o różnych powierzchniach kolektorów słonecznych oraz różnych pojemnościach zasobników dla budynków o różnym zapotrzebowaniu na ciepło. W symulacjach przyjęto, że pojemność zasobnika zależy od powierzchni kolektorów i na 1 m² kolektora przypada 70 l pojemności zasobnika.



Rysunek 3. Udział pokrycia zapotrzebowania na c.w.u. oraz c.o. przez instalacje kolektorów słonecznych o różnej wielkości oraz zastosowanych w budynkach o różnym zapotrzebowaniu na ciepło do ogrzewania i wentylacji (wartości w legendzie odnoszą się do zapotrzebowania na energię do ogrzewania i wentylacji w budynku -100, 60, 40, 15 kWh/(m²rok)).

Tabela 1. Jednostkowe uzyski energetyczne kolektorów słonecznych dla różnych instalacji i budynków.

Zapotrzebowanie na c.o. [kWh/m ² /rok]	Pow. kolektorów słonecznych [m ²]				
	4	6	8	10	12
	Uzyski energetyczne [kWh/m ²]				
100	517,5	404,6	343,6	304,1	278,2
60	507,3	390	324,1	282,2	252,3
40	500,7	379,6	310,1	265,1	233,4
15	490	365,6	293,6	246,7	214,1

Znaczna pojemność zasobnika pozwala uniknąć znacznego przegrzewania zasobnika latem, ewentualny nadmiar ciepła może zostać oddany do otoczenia w godzinach nocnych, poprzez chłodzenie z wykorzystaniem kolektora słonecznego (odwrócony obieg).

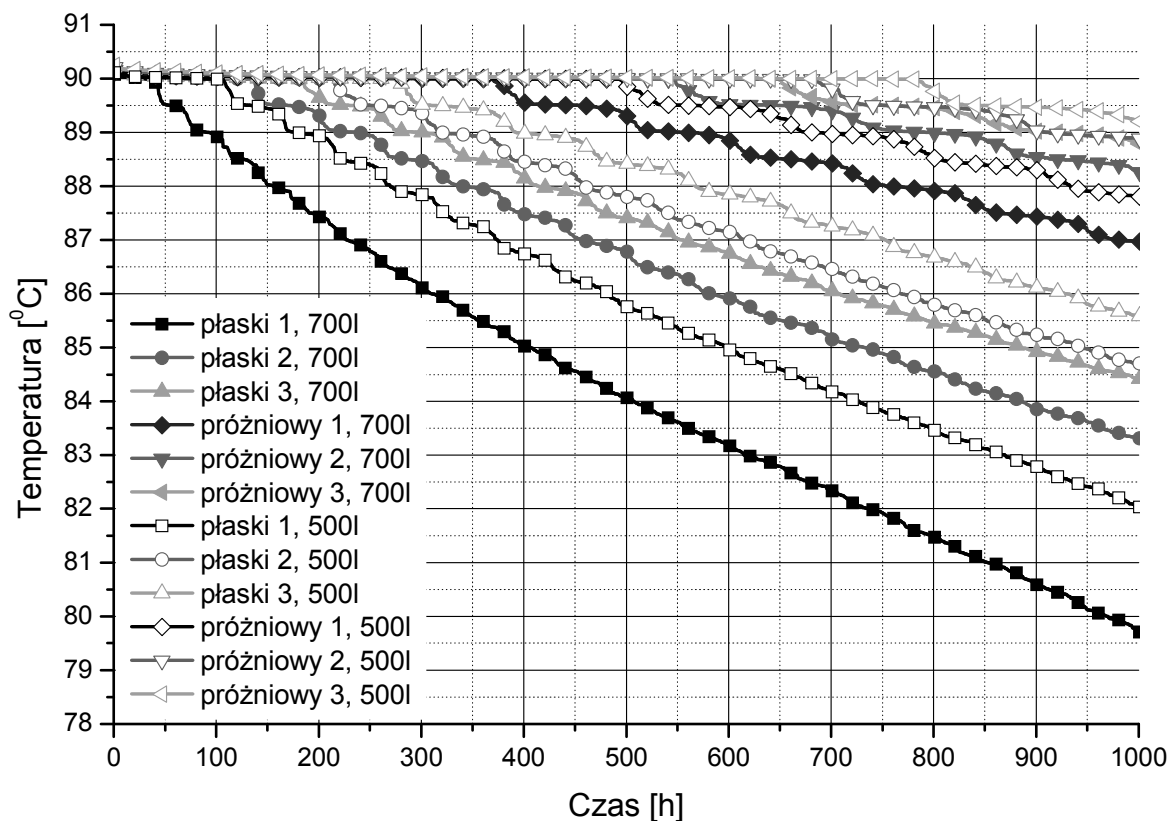
Tabela 2. Parametry kolektorów słonecznych użyte w symulacjach

Rodzaj kolektora	η_0	a_1 [W/(m ² K)]	a_2 [W/(m ² K ²)]
Płaski 1	0,74	4,1	0,012
Płaski 2	0,8	3,8	0,01
Płaski 3	0,83	3,7	0,009
Próżniowy 1	0,65	1,3	0,007
Próżniowy 2	0,75	1,3	0,006
Próżniowy 3	0,81	1,3	0,005

Na rysunku 4 przedstawiono uporządkowany wykres temperatury w górnej części zasobnika dla przyjętych założeń dotyczących budynku o zapotrzebowaniu 15 kWh/m²/rok dla instalacji o powierzchni 10 m² dla różnego typu kolektorów słonecznych i różnej pojemności zasobnika. Na wykresie widoczny jest czas, w którym instalacja nie pracowała ponieważ temperatura w zasobniku przekraczała 90°C.

Zamieszczone na rysunku 4 wyniki odnoszą się do kolektorów o różnych parametrach: η_0 oraz współczynnikach a_1 oraz a_2 określających straty ciepła z kolektora. W tabeli 2 zestawiono parametry kolektorów dla których wyniki przedstawiono na rysunku 4.

Przegrzewanie zasobnika w okresie letnim występuje przede wszystkim w przypadku zastosowania kolektorów słonecznych próżniowych. Dla każdego z typów kolektorów czas wyłączenia pompy obiegowej przekraczał 350 godzin w ciągu roku. W przypadku tego rodzaju kolektorów trudne jest również wychłodzenie zasobnika w godzinach nocnych poprzez wymuszenie przepływu czynnika przez kolektor. Zastosowanie kolektorów płaskich daje takie możliwości oraz ogranicza czas przegrzewania się zasobnika. Zwiększanie pojemności zasobnika również skraca czas występowania przegrzewania, jednak nie ma tak istotnego wpływu, jak parametry kolektora słonecznego.



Rysunek 4. Uporządkowany wykres temperatury w górnej części zasobnika, dla różnych typów kolektorów oraz różnych pojemności zasobników.

Zastosowanie kolektora słonecznego o wyższej sprawności optycznej oraz o niższych współczynnikach strat ciepła (a_1 oraz a_2) oznacza większą ilość wytwarzanego ciepła, jednak możliwości wykorzystania tego ciepła nie są na tyle duże, aby rekompensować koszty i problemy jakie może powodować przegrzewanie zasobnika. W tabeli 3 przedstawiono jednostkowe uzyski z 1m^2 kolektora słonecznego w ciągu roku dla symulacji przeprowadzonych dla różnych typów kolektorów oraz dla różnych pojemności zasobników.

Tabela 3. Jednostkowe uzyski energetyczne różnych kolektorów słonecznych przy różnej pojemności zasobnika.

Rodzaj kolektora:	Uzysk [$\text{kWh}/\text{m}^2/\text{rok}$]	
	Zasobnik 700l	Zasobnik 500l
Płaski 1	230,5	232,2
Płaski 2	241,8	243,6
Płaski 3	246,6	248,8
Próżniowy 1	252	255,4
Próżniowy 2	266,2	269,5
Próżniowy 3	274,7	277,9

Zmniejszenie pojemności zasobnika powoduje podniesienie średniej temperatury wody w zbiorniku i lepsze wykorzystanie zgromadzonego ciepła. Różnice pomiędzy zasobnikiem o pojemności 700 i 500 l są jednak nieznaczne. Uwzględniając możliwości przegrzewania zasobnika w okresie letnim zaznaczyć należy, że pojemność zasobnika może być zmniejszana jedynie, gdy w okresie letnim występuje możliwość wykorzystanie nadmiarowego ciepła. Ciepło to może zostać wykorzystane do ogrzewania basenu, chłodzenia lub regeneracji dolnego źródła ciepła pompy ciepła.

PODSUMOWANIE - WNIOSKI

Na podstawie zaprezentowanej analizy można sformułować następujące wnioski:

1. W polskim klimacie instalacje słoneczne nie są w stanie w 100% pokryć zapotrzebowania na ciepło w celach ogrzewania pomieszczeń, przez co wymagają dodatkowego źródła ciepła. Maksymalna wartość pokrycia zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania i wentylacji, uzyskana dla budynku o jednostkowym rocznym zapotrzebowaniu w wysokości $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2/\text{rok})$, wyniosła blisko 20% (instalacja posiadała kolektory słoneczne płaskie o powierzchni 12m^2 oraz zasobnik o pojemności 840l).

2. Im niższe zapotrzebowanie budynku na ciepło do ogrzewania pomieszczeń tym wyższe pokrycie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania i wentylacji może zapewnić instalacja słoneczna. Relacja pomiędzy wielkością instalacji a stopniem pokrycia zapotrzebowania na c.o. jest praktycznie liniowa dla przyjętych w analizach założeń. Zwiększanie powierzchni kolektorów słonecznych nie wpływa znacznie na wartości pokrycia zapotrzebowania na c.w.u.

(rysunek 3). Przy powierzchni kolektorów słonecznych powyżej 8m^2 wzrost pokrycia zapotrzebowania na c.w.u. jest bardzo niewielki. Powierzchnia kolektorów słonecznych, dla której wzrost pokrycia zapotrzebowania na c.w.u. zostaje zahamowany, zależy głównie od wartości tego zapotrzebowania.

3. Kolektory próżniowe w systemach wspomagających ogrzewanie budynków zapewniają większy roczny uzysk energii niż systemy z kolektorami płaskimi, ale w okresie letnim powodują one przegrzewanie się instalacji i konieczność wyłączenia pompy obiegu kolektorów słonecznych. Konsekwencją tego może być awaria systemu lub szybsza degradacja roztworu wodno-glikolowego w pętli kolektorów słonecznych. Ze względu na bardzo niskie straty ciepła do otoczenia z tego typu urządzeń zastosowanie chłodzenia zasobnika w okresie nocnym nie jest możliwe. Z przedstawionych analiz wynika, że czas wyłączenia pompy obiegu kolektorów słonecznych w przypadku kolektorów próżniowych może znacznie przekraczać 350 godzin w ciągu roku.

4. Im większa powierzchnia kolektorów słonecznych przy zadanym zapotrzebowaniu na ciepło do ogrzewania pomieszczeń i c.w.u. tym niższe wartości jednostkowego uzysku energii z kolektorów słonecznych [$\text{kWh}/(\text{m}^2/\text{rok})$]. Wynika to przede wszystkim z ograniczonego odbioru ciepła w okresie letnim. W analizowanych instalacjach kombi wartości jednostkowych uzysków energii zmieniały się w zakresie $220 - 520 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{rok}$. Powiększenie powierzchni czynnej kolektorów słonecznych od 4m^2 do 12m^2 (odpowiednio zmieniano również pojemność zasobnika) przy stałym zapotrzebowaniu na ciepło w budynku, skutkowało dwukrotnym lub większym obniżeniem wartości jednostkowych uzysków energii z kolektorów słonecznych. Efektem tego jest jedynie niewielki wzrost pokrycia zapotrzebowania na ciepło przy znacznej zmianie powierzchni kolektorów słonecznych.

Uzyskanie znacznie wyższych wartości jednostkowych uzysków energii z kolektorów słonecznych możliwe jest poprzez zapewnienie dodatkowego odbioru ciepła w okresie letnim. Ciepło może być wykorzystane do:

- ogrzewania wody w basenie;
- chłodzenia pomieszczeń, poprzez wykorzystanie chłodziarek adsorpcyjnych, absorpcyjnych lub poprzez zastosowanie chłodzenia wyparnonatryskowego;
- regeneracji dolnego źródła ciepła pompy ciepła.

Ostatnie z wymienionych działań pozwala zwiększyć wydajność pracy pompy ciepła w okresie zimowym.

Rozwiązaniem zapewniającym lepsze wykorzystanie wytwarzanego przez kolektory słoneczne ciepła może być również zastosowanie sezonowego magazynu ciepła.

LITERATURA

- Chwieduk D., 2011, *Energetyka słoneczna budynku*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa
- Chwieduk D., 2005, Rozdział 13 w: *Budownictwo ogólne*. Tom II. Fizyka Budowli. Arkady, Warszawa
- Chwieduk D., Bigorajski J., Chwieduk M., *Narzędzie użytkowe wymiarowania i symulacji funkcjonowania słonecznych systemów grzewczych w warunkach krajowych*. INSTAL Teoria i praktyka w instalacjach nr.: 12/2013, str 39-43
- Day. T., 2006, *Degree-days: theory and application*. The Chartered Institution of Building Services Engineers, London
- Duffie J. A., 1999, Beckman W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, Inc.
- Program priorytetowy: Poprawa efektywności energetycznej, Część 2) Dopłaty do kredytów na budowę domów energooszczędnych 01.01.2015 NFOŚiGW
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 roku, zmieniające Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2013 poz. 926
- Strona internetowa Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju - www.mir.gov.pl
- Weiss W., Witter V., 2007, *Contribution of Solar Thermal to the EU SET Plan. Consolidated position of ESTTP*. Presentation at the AGE Hearings, Brussels