

# **Analiza opłacalności zastosowania niekonwencjonalnych źródeł energii w projektowanym budynku jednorodzinnym. Kolektory słoneczne, pompy ciepła**

*Ewelina Różycka  
Politechnika Warszawska*

## **1. Wprowadzenie**

Zużycie energii w światowej gospodarce staje się coraz większe. W Polsce zapotrzebowanie na energię rośnie wraz z rozwojem gospodarczym kraju. Dane oraz szacunki dostępne w literaturze mówią wyraźnie, że w 2020 roku zapotrzebowanie na energię całkowitą na całym świecie będzie około 4,5 razy większe w stosunku do roku 1960. Dalsze prognozy zapotrzebowania są równie niepokojące i wynoszą ponad 6 razy więcej w roku 2050 w stosunku do roku 1960. Pojawia się pytanie, czy istnieją tak rozbudowane systemy, by zapewnić nam wystarczającą ilość energii.

Pojawia się tu alternatywa, którą są odnawialne źródła energii. Ze względu na trend panujący na świecie, stosowanie urządzeń wykorzystujących energię odnawialną zyskało duże zainteresowanie. Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie paliwowo – energetycznym świata, przyczynia się do poprawy efektywności wykorzystania i oszczędzania zasobów surowców energetycznych, poprawy stanu środowiska, poprzez redukcję zanieczyszczeń do atmosfery i wód, oraz redukcję ilości wytwarzanych odpadów oraz zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub>. W związku z tym wspieranie rozwoju tych źródeł, staje się coraz poważniejszym wyzwaniem dla niemalże wszystkich państw świata. „Biała Księga Unii Europejskiej” z 1998 roku i dyrektywy ustanowione dla 15 państw członkowskich zalecają zwiększenie udziału energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii do poziomu 12% w 2010 roku oraz ograniczenie emisji dwutlenku węgla o 8% w porównaniu z poziomem z 1999 roku. W nie-

wielkich gospodarstwach domowych, takich jak dom jednorodzinny najczęściej instaluje się pompy ciepła i kolektory słoneczne. Oba te urządzenia zostały wykorzystane do analizy zawartej w temacie artykułu. Do porównania użyto przydomowych instalacji dla domu jednorodzinnego.

## 2. Kolektory słoneczne

Kolektor słoneczny jest jednym z elementów solarnej instalacji grzewczej, w której skład wchodzi:

- kolektor lub bateria kolektorów słonecznych,
- zbiornik solarny c.w.u. lub zewnętrzny,
- układ sterujący,
- zespół pompowy (przyłączeniowo – zabezpieczający).

Instalacja taka służy do konwersji energii promieniowania słonecznego w użyteczne ciepło. Jest to możliwe dzięki absorberowi zamontowanemu w kolektorze słonecznym. Ciepło następnie jest transportowane dzięki płynowi solarnemu (zwanego również czynnikiem roboczym) do wymiennika. Z kolei transport ten możliwy jest dzięki zespołowi pompowemu. Gdy temperatura wody w zbiorniku jest niższa od temperatury płynu solarnego w kolektorze, wówczas układ sterujący włącza zespół pompowy. Energia promieniowania słonecznego oddawane jest wodzie użytkowej poprzez wymiennik znajdujący się wewnątrz zbiornika. Ogrzana woda w zbiorniku transportowana jest przez armaturę hydrauliczną do różnych miejsc poboru. Jeżeli ciepło wytworzone przez kolektory przekroczy zdolności akumulacyjne zbiornika, to regulator temperatury wyłącza pompę obiegową. Następnie odpowiednie urządzenia zabezpieczające, zamontowane w zespole pompowym, nie dopuszczają do uszkodzenia instalacji.

Dzięki modularnej budowie możliwa jest rozbudowa takich instalacji o dodatkowe urządzenia, takie jak zasobniki buforowe c.o., czy wymienniki basenowe. Jeżeli natomiast występuje niedobór energii słonecznej, instalację możemy połączyć z mniej lub bardziej tradycyjnymi urządzeniami grzewczymi w celu zapewnienia ogrzewania wody użytkowej.

Warto podkreślić, że rozróżniamy kilka typów kolektorów słonecznych. Dostępne na rynku kolektory można podzielić na:

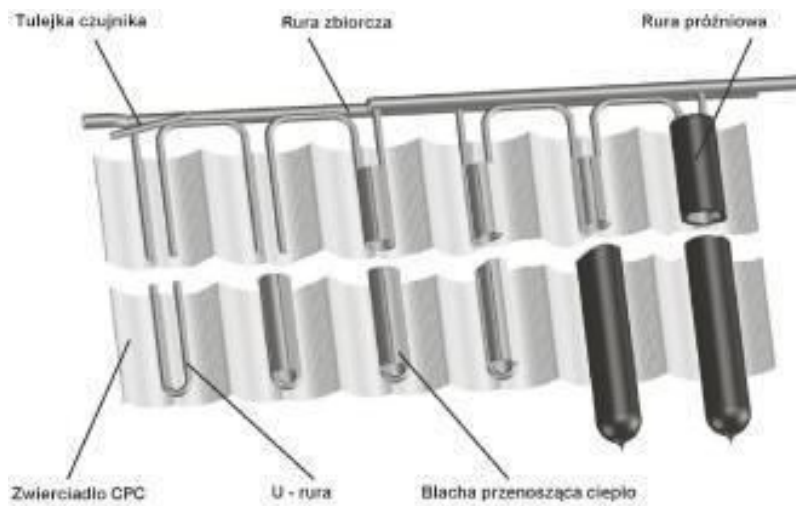
- kolektory cieczowe płaskie:
  - a. z izolacją termiczną (z wełny mineralnej lub pianki poliuretanowej),
  - b. z izolacją próżniową,
- kolektory powietrzne,
- kolektory rurowe próżniowe:

- a. z bezpośrednim przepływem czynnika solarnego,
- b. z pośrednim czynnikiem odparowującym w rurce cieplnej wg zasady heat pipe,
- inne – np. kolektory zwierciadlane.

Wykorzystane do analizy kolektory słoneczne bazują na podstawie budowy termosu. Są to próżniowe kolektory rurowe zbudowane z następujących elementów:

- zbieracza z jednostką przenoszącą ciepło i rurą powrotną,
- zwierciadła CPC,
- wakum – rury.

Każdy z tych elementów pełni bardzo ważną rolę. Wakum – rura składa się z dwóch koncentrycznych rur szklanych, które z jednej strony zakończone są półokrągło a z drugiej strony zgrzane ze sobą. Przestrzeń między nimi zostaje opróżniona z powietrza i hermetycznie zamknięta. W ten sposób można otrzymać najlepszą izolację – próżnię. Aby umożliwić wykorzystanie energii słonecznej, zewnętrzna ściana wewnętrznej rury zostaje pokryta wysokoselektywną przyjazną dla środowiska, warstwą tworzącą absorber. Warstwa absorbująca zamknięta jest w przestrzeni próżniowej. Absorber stanowi przyjazną dla środowiska, warstwę aluminiowo-azotynową charakteryzującą się szczególnie niską emisją oraz bardzo wysoką absorpcją.



**Rys. 1.** Zbieracz z jednostką przenoszącą ciepło

**Fig. 1.** Collector with the heat transporting unit

Kolejnym punktem, po wyborze rodzaju kolektora i zapoznaniu się z jego budową oraz możliwością montażu na projektowanym budynku, był dobór odpowiedniej jednostki. W zależności od tego, czy uwzględnimy wspomaganie centralnego ogrzewania lub nie, wielkość jednostek będzie różna. Pierwszym i podstawowym parametrem było określenie liczby osób zamieszkujących w domu jednorodzinnym. Jako przeciętne zużycie ciepłej wody użytkowej, przyjmuje się 50 litrów na dobę na osobę. Prezentowane obliczenia są wykonane dla 4 osób zamieszkujących w/w dom.

	Tylko przygotowanie wody na cele c.w.u.	Przygotowanie wody na cele c.w.u. oraz wspomaganie ogrzewania
Wielkość kolektora	5 m <sup>2</sup>	9 m <sup>2</sup>
Wielkość zbiornika	400 litrów	720 litrów
Powierzchnia całkowita modułu	5,8 m <sup>2</sup>	9 m <sup>2</sup>
Pojemność obiegu solar	23 litry	22 litry
Wielkość naczynia zbiorczego	50 litrów	80 litrów
Ilość płynu obiegu kolektora	17,9 litrów	18,9 litrów

Powyższe wielkości zaczerpnięte zostały z materiałów i katalogów firmy branżowej.

Koszty inwestycyjne oraz okres zwrotu przedstawione i omówione zostaną niżej.

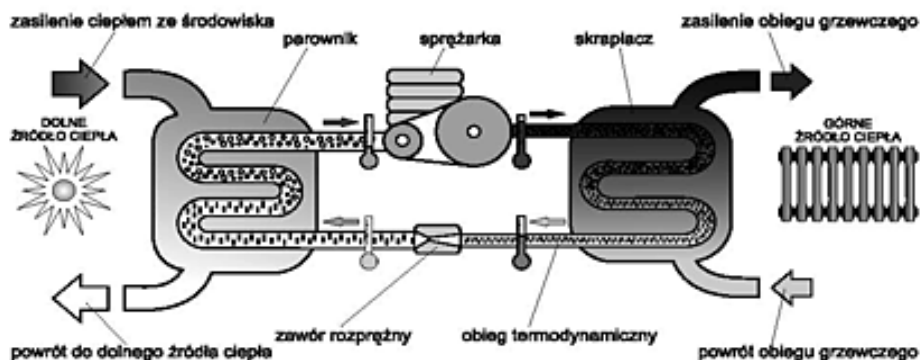
### 3. Pompy ciepła

Tradycyjne instalacje domowe służące zapewnieniu energii cieplnej zbudowane są w oparciu o różnego rodzaju piece spalające paliwo w wysokiej temperaturze. Pompa ciepła jest urządzeniem pobierającym energię ze środowiska otaczającego obiekt, do którego tę energię doprowadza. Pompa ciepła działa na podobnej zasadzie jak domowa chłodziarka.

Ze względu na rodzaj napędu i zasadę działania możemy wyodrębnić trzy podstawowe grupy pomp ciepła, z którymi możemy zetknąć się na co dzień:

- pompy absorpcyjne (z napędem cieplnym), powszechnie stosowane w dużych zakładach przemysłowych do podwyższania potencjału energetycznego ciepła odpadowego,
- pompy termoelektryczne (z napędem elektrycznym), czyli ogniwa Peltiera. Stosowane do ciągłego i efektywnego odprowadzania dużych ilości ciepła z niewielkich przedmiotów, np. chłodzenie półprzewodników we współczesnej elektronice,
- pompy sprężarkowe (z napędem mechanicznym, silnik sprężarki zasilany jest najczęściej prądem elektrycznym), stosowane w technice grzewczej i chłodniczej. Jest to alternatywa dla kotłów na paliwo organiczne oraz ogrzewaczy elektrycznych.

W opracowaniu wykorzystane zostały wyłącznie pompy sprężarkowe, których zasadę działania pokazuje poniższy schemat na rysunku 1.



**Rys. 2.** Schemat przedstawiający zasadę działania sprężarkowej pompy ciepła [1]

**Fig. 2.** Basic rule of compressor heat pump work

System grzewczy, wykorzystujący sprężarkową pompę ciepła, posiada trzy obiegi:

- obieg dolnego źródła ciepła,
- obieg górnego źródła ciepła,
- obieg termodynamiczny połączony z obiegiem dolnego źródła ciepła za pomocą parownika, a z obiegiem górnego źródła ciepła za pomocą skraplacza.

Zasada działania jest bardzo prosta. Poprzez obieg dolnego źródła ciepła możliwy jest odbiór ciepła ze źródła niskotemperaturowego, które przekazane zostaje do pierwotnej strony wymiennika (parownika) w pompie ciepła.

Zarówno dolne źródło, jak i czynnik roboczy mają temperaturę niższą od temperatury wymaganej przez system centralnego ogrzewania. Do wtórnej strony parownika doprowadzony jest czynnik roboczy obiegu termodynamicznego – zimny czynnik termodynamiczny.

Obieg górnego źródła ciepła odbiera ciepło od gorącego czynnika termodynamicznego i rozprowadza je do odbiorników. Przekazywanie tego ciepła odbywa się w wymienniku pompy ciepła zwanym skraplaczem.

Do pierwotnej strony skraplacza doprowadzony jest czynnik termodynamiczny, natomiast do wtórnej strony skraplacza doprowadzony jest czynnik roboczy górnego źródła ciepła (woda grzewcza).

W obiegu termodynamicznym odbywa się przekazywanie ciepła z niższego na wyższy poziom temperatury. Odbywa się to w zamkniętym procesie, poprzez cykliczną zmianę fizycznego stanu czynnika termodynamicznego – sprężanie, skraplanie, rozprężanie, parowanie. Proces taki zachodzi z udziałem dostarczonej z zewnątrz energii, służącej do napędu sprężarki (prądu elektrycznego).

Sprężarka spręża parę czynnika termodynamicznego, w wyniku czego następuje przyrost jej temperatury. Gorąca para oddaje w skraplaczu większość swojego ciepła wodzie grzewczej, przy czym w wyniku ochładzania para ulega skropleniu.

W nowoczesnych pompach ciepła, jako czynniki robocze obiegu termodynamicznego, wykorzystuje się najczęściej związki zwane freonami. Związki te, lub ich mieszaniny, są bezbarwne, bezwonne i nietrujące oraz – ze względów ekologicznych – bezchlorowe.

Moc i efektywność sprężarkowych pomp ciepła ściśle zależy od rodzaju dolnego i górnego źródła ciepła. Współczynnik efektywności sprężarkowych pomp ciepła zależy od różnicy temperatury dolnego i górnego źródła ciepła wyrażonej w stopniach Kelvina. Zazwyczaj przyjmuje on wartość od 3 do 4,5. Współczynnik ten, oznaczany jako COP jest stosunkiem mocy grzewczej, wyrażanej jako zapotrzebowanie ciepła dla budynku, do mocy pobranej z sieci

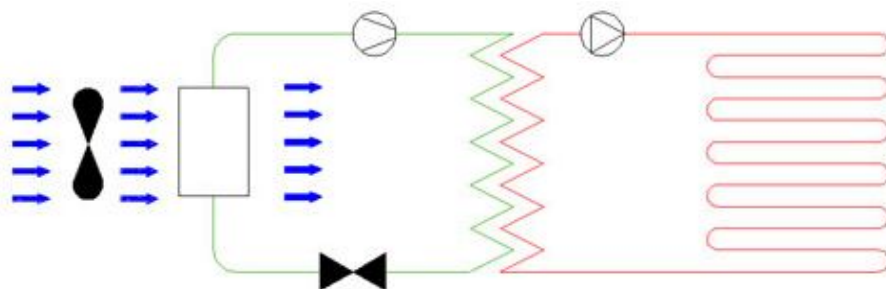
$$COP = \frac{\text{Moc grzewcza}}{\text{Moc pobrana z sieci}} \quad (1)$$

Jak wspomniano wcześniej rozróżniamy kilka rodzajów dolnych źródeł ciepła. Różne metody pozyskania ciepła ze środowiska naturalnego spowodowały podział sprężarkowych pomp ciepła:

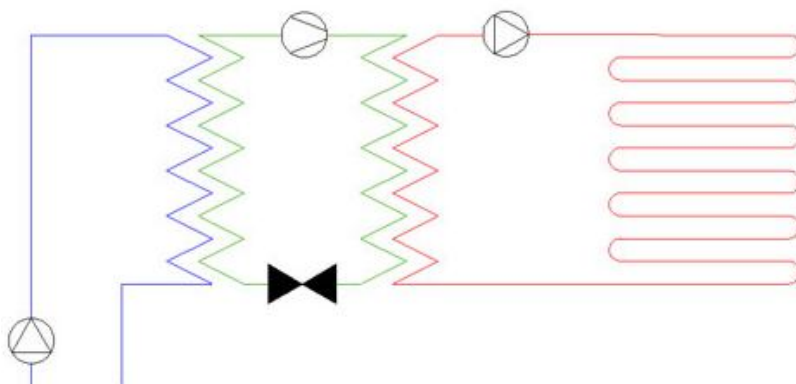
- powietrze/woda (P/W),
- woda/woda (W/W),
- solanka/woda (S/W),
- bezpośrednio parowanie/woda (BP/W).

Pierwszy człon nazwy nawiązuje do metody pozyskiwania ciepła z dolnego źródła. Powietrze (P) i woda (W) ze środowiska naturalnego są bezpośrednio doprowadzane do parownika pompy ciepła. Solanka (S) to umowna nazwa niezamarzającego roztworu glikolu propylenowego z wodą, który przepływa przez kolektor gruntowy. Jeśli zaś kolektor gruntowy jest parownikiem, to wówczas mamy do czynienia z bezpośrednim parowaniem (BP). Druga część nazwy oznacza rodzaj czynnika roboczego w górnym źródle. Niezależnie od tego czy pompa ogrzewa c.w.u., czy też zasila centralne ogrzewanie, najczęściej używanym czynnikiem roboczym górnego źródła ciepła jest woda grzewcza (W).

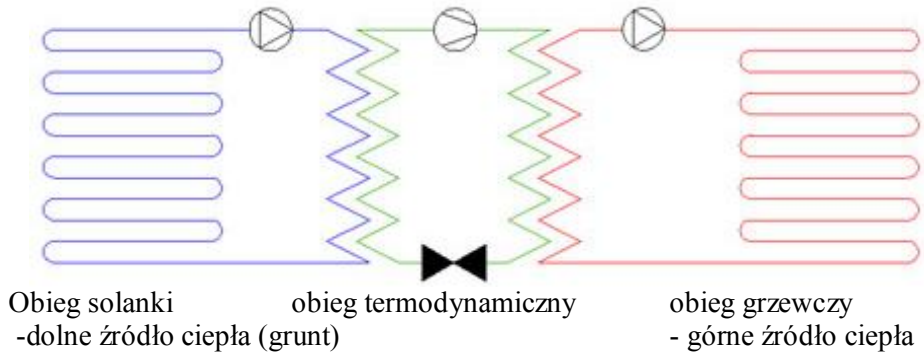
Na rysunkach 3÷6 pokazano schematy przedstawiające działanie sprężarkowych pomp ciepła.



**Rys. 3.** Schemat obiegów w pompie ciepła typu powietrze / woda (P/W)  
**Fig. 3.** Basic scheme of circulation in air / water (A/W) heat pump

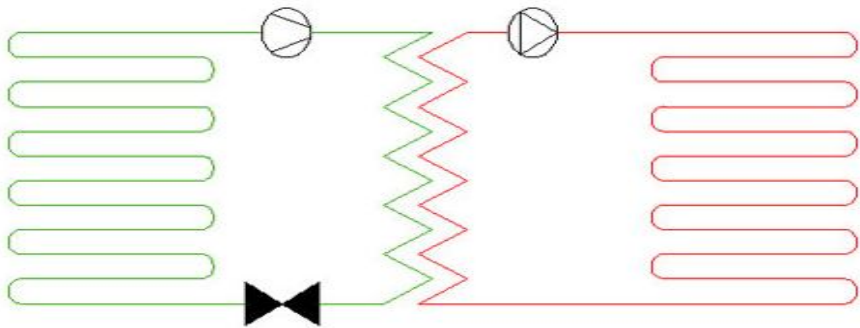


**Rys. 4.** Schemat obiegów w pompie ciepła typu woda/woda (W/W), układ otwarty  
**Fig. 4.** Basic scheme of circulation in water / water (W/W) heat pump, open circuit



Rys. 5. Schemat obiegów w pompie ciepła typu solanka/woda (S/W)

Fig. 5. Basic scheme of circulation in brine / water (B/W) heat pump



Rys. 6. Schemat obiegów w pompie ciepła typu bezpośrednie parowanie/woda (BP/W)

Fig. 6. Basic scheme of circulation in direct expansion / water (DE/W) heat pump

#### 4. Analiza

Niniejszy artykuł zawiera analizę opłacalności zastosowania urządzeń wykorzystujących energię odnawialną w porównaniu z kotłem kondensacyjnym, wraz z armaturą i urządzeniami wspomagającymi, na przykładzie średniej wielkości domu jednorodzinnego znajdującego się w Warszawie.

Bryła budynku jest zwarta, dach spadzisty o nachyleniu 30°. W części północnej na poddaszu znajduje się taras.

Strefa klimatyczna III. Parametry powietrza zewnętrznego dla okresu zimowego, zgodnie z PN-/B-02402 i PN-76/B-03420, obliczeniowa temperatura zewnętrzna wynosi  $-20^{\circ}\text{C}$ .



Cały budynek jest podpiwniczony, gdzie znajduje się kotłownia, pralnia, siłownia oraz pomieszczenia komunikacyjne. W podpiwniczeniu budynku znajdują się również dwa nieogrzewane garaże. Na użytkowym poddaszu znajduje się jedno nieogrzewane pomieszczenie pustki powietrznej. Po przeciwnej stronie zaprojektowano taras.

Temperatury wewnętrzne przyjęto w oparciu o Rozporządzenia Ministra Infrastruktury zamieszczone w Dzienniku Ustaw nr 75, pozycja 690, z dnia 12 kwietnia 2002 r. Dla takich warunków zapotrzebowanie ciepła szczytowe (dla warunków obliczeniowych) wynosi 13,7 kW.

Ściany i przegrody zewnętrzne oraz stropy wykonane zostały z materiału Silka. Ściany zewnętrzne zostały zaizolowane metodą bezspoinowego systemu ociepleń. Jako izolację zastosowano 14-sto centymetrową wełnę mineralną, którą pokryto warstwą tynku cienkowarstwowego.

Dane techniczne obiektu:

- powierzchnia użytkowa: 255 m<sup>2</sup>,
- kubatura: 633 m<sup>3</sup>,
- wysokość piwnic w świetle: 2,24 m,
- wysokość parteru w świetle: 2,86 m,
- wysokość poddasza użytkowego w świetle (do sufitu podwieszanego): 2,70 m,
- współczynnik przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych gr. 38 cm,  $U=0,248 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- współczynnik przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych gr. 32 cm,  $U=0,257 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- współczynnik przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych przy gruncie gr. 32 cm,  $U=0,355 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Zasilanie w ciepło instalacji będzie odbywało się z istniejącej kotłowni zlokalizowanej w piwnicy budynku. Do ogrzewania budynku zaprojektowano instalację centralnego ogrzewania systemem mieszanym z rozdzielaczami. Parametry ogrzewania grzejnikowego 55/45°C. Parametry dla ogrzewania płaszczynowego dla obwodów regulacji na parterze  $t_z = 40,3^\circ\text{C}$ , na piętrze  $t_z = 41,2^\circ\text{C}$ . Dobrano kocioł kondensacyjny gazowy o mocy 18 kW. Ciśnienie dyspozycyjne w zaprojektowanej instalacji wynosi 28,1 kPa.

**Tabela 1.** Dane projektowe**Table 1.** Project data

<b>Lp</b>		<b>Wartość</b>	<b>Jedn. [a]</b>	<b>Wartość</b>	<b>Jedn. [a]</b>	<b>Źródło</b>
1	Moc cieplna budynku	13,667	kW	-	-	wg obliczeń z programu Audytor OZC
2	Czas pracy systemu w sezonie grzewczym	5328	h/rok	-	-	wg PN-B/02025
3	Roczne zapotrzebowanie budynku na ciepło netto	125,24	GJ/rok	34789	kWh/rok	wg obliczeń z programu Audytor OZC
4	Roczne zapotrzebowanie budynku na ciepło brutto	129,38	GJ/rok	35682	kWh/rok	wg Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
5	Długość pełnego sezonu grzewczego	7	m-cy	-	-	wg PN-B/02025
6	Temperatura pomieszczeń	20/24	oC	-	-	wg PN-/B-02402 i PN-76/B-03420
7	Roczne zapotrzebowanie ciepła na c.w.u.	12,265	GJ/rok	3407	kWh/rok	wg PN-94/B-03406
8	Roczne zapotrzebowanie ciepła	137,51	GJ/rok	39089	kWh/rok	-

Pierwszy krok analizy, to zestawienie poszczególnych kosztów inwestycyjnych różnych rodzajów kotłowni. A są to kotłownie:

- kotłownia kondensacyjna, dobrano kocioł kondensacyjny gazowy o mocy 18 kW;
- kotłownia kondensacyjna z instalacją solarną wspomagającą podgrzew c.w.u.;
- kotłownia kondensacyjna z instalacją solarną wspomagającą c.o. i podgrzew c.w.u.;
- kotłownia z pompą ciepła powietrze/woda (P/W);
- kotłownia z pompą ciepła woda/woda (W/W);
- kotłownia z pompą ciepła solanka/woda (S/W) z kolektorem gruntowym pionowym;
- kotłownia z pompą ciepła solanka/woda (S/W) z kolektorem gruntowym poziomym.



**Rys. 7.** Porównanie nakładów inwestycyjnych poszczególnych rodzajów kotłowni

**Fig. 7.** Comparison of capital costs in specific types of boiler houses

Krokiem drugim było zestawienie cen różnych nośników energii wg danych internetowych na kwiecień 2008 roku (rys. 7). Następnie zestawienie wartości opałowych różnych nośników energii, pozwoliło na porównanie cen

1GJ /1kWh wytworzonego ciepła dla poszczególnych urządzeń grzewczych. Do obliczeń wykorzystano:

- stopień wykorzystania paliwa wg tabeli z Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [5],
- sprawność urządzeń wg tabeli z Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [5],
- współczynnik COP i SPF przyjęto zgodnie z danymi zawartymi w artykule [7].

Krokiem kolejnym było porównanie kosztów eksploatacyjnych poszczególnych urządzeń zaopatrujących budynek w ciepło. Do obliczeń rocznego zapotrzebowania budynku na ciepło brutto wykorzystano dane zawarte w tabeli 2 (wg Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie oraz projektu nowelizacji z marca 2008 roku) [5].

**Tabela 2.** Sprawność systemu ogrzewania

**Table 2.** Heating system efficiency

sprawność przesyłania ciepła	
instalacja c.o. z przewodami w dobrym stanie	0,95
sprawność wykorzystania ciepła	
ogrzewanie podłogowe	1,00
ogrzewanie tradycyjne, grzejniki prawidłowo usytuowane w pomieszczeniu	0,95
sprawność regulacji	
sprawność regulacji systemu grzewczego	0,97
<i>Sprawność systemu ogrzewania</i>	<i>0,968</i>

**Tabela 3.** Roczne koszty energii oraz przybliżony miesięczny koszt energii w sezonie grzewczym dla poszczególnych rodzajów urządzeń grzewczych

**Table 3.** Yearly energy spending and approximate monthly energy costs in heating season for particular boiler units

Lp.	Rodzaj urządzenia grzewczego	Jednostka [a]	Koszt 1 kWh wytworzonego ciepła [zł]	Prognozowane zużycie roczne [a/rok]	Roczny koszt energii [zł/rok]	Średniomiesięczny koszt energii [zł/m-c]	Przybliżony miesięczny koszt energii w sezonie grzewczym [zł/m-c grz.]
1	Gazowy kocioł kondensacyjny – GZ 50	m3	0,123 zł	4293,48	4 826,728 zł	402,23 zł	689,53 zł
2	Kondensacyjny kocioł olejowy	litr	0,261 zł	3412,67	10 203,893 zł	850,32 zł	1 457,70 zł
3	Gazowy kocioł z palnikiem wentylatorowym i ciągłą regulacją procesu spalania – GZ 50	m3	0,169 zł	5889,33	6 620,782 zł	551,73 zł	945,83 zł
4	Olejowy kocioł z palnikiem wentylatorowym i ciągłą regulacją procesu spalania	litr	0,356 zł	4656,37	13 922,540 zł	1 160,21 zł	165,74 zł
5	Węglowy kocioł z paleniskiem retortowym	kg	0,115 zł	8511,19	4 510,929 zł	375,91 zł	53,70 zł
6	Gazowy kocioł z palnikiem wentylatorowym i ciągłą regulacją procesu spalania – propan	litr	0,531 zł	7735,78	20 762,820 zł	1 730,24 zł	247,18 zł
7	Pompa ciepła powietrze/woda (P/W) – energia elektryczna taryfa całodobowa	kWh	0,075 zł	14112,39	2 919,853 zł	243,32 zł	417,12 zł
8	Pompa ciepła powietrze/woda (P/W) – energia elektryczna taryfa zmienna 40%/60%	kWh	0,074 zł	14111,43	2 870,265 zł	239,19 zł	410,04 zł
9	Pompa ciepła solanka/woda (S/W) wraz z pionowym kolektorem gruntowym – energia elektryczna taryfa całodobowa	kWh	0,048 zł	9091,00	1 880,928 zł	156,74 zł	268,70 zł
10	Pompa ciepła solanka/woda (S/W) wraz z pionowym kolektorem gruntowym – energia elektryczna taryfa zmienna 40%/60%	kWh	0,047 zł	9090,39	1 848,985 zł	154,08 zł	264,14 zł
11	Pompa ciepła solanka/woda (S/W) wraz z poziomym kolektorem gruntowym – energia elektryczna taryfa całodobowa	kWh	0,048 zł	9 091,00	1 880,928 zł	156,74 zł	268,70 zł

**Tabela 3. cd**

**Table 3. cont.**

Lp.	Rodzaj urządzenia grzewczego	Jednostka [a]	Koszt 1 kWh wytworzonego ciepła [zł]	Prognozowane zużycie roczne [a/rok]	Roczny koszt energii [zł/rok]	Średniomiesięczny koszt energii [zł/m-c]	Przybliżony miesięczny koszt energii w sezonie grzewczym [zł/m-c grz.]
12	Pompa ciepła solanka/woda (S/W) wraz z poziomym kolektorem gruntowym – energia elektryczna taryfa zmienna 40%60%	kWh	0,047 zł	9090,39	1 848,985 zł	154,08 zł	264,14 zł
13	Pompa ciepła woda/woda (W/W) wraz z dwoma studniami – energia elektryczna taryfa całodobowa	kWh	0,038 zł	7107,51	1 470,544 zł	122,55 zł	210,08 zł
14	Pompa ciepła woda/woda (W/W) wraz z dwoma studniami – energia elektryczna taryfa zmienna 40%60%	kWh	0,037 zł	7107,03	1 445,570 zł	120,46 zł	206,51 zł
15	Gazowy kocioł kondensacyjny – GZ 50 z instalacją solarną wspomagającą podgrzewanie c.w.u	m3	0,111 zł	3838,82	4 315,605 zł	359,63 zł	616,52 zł
		kWh		79,99	16,557 zł	1,38 zł	2,37 zł
16	Gazowy kocioł kondensacyjny – GZ 50 z instalacją solarną wspomagającą podgrzewanie c.w.u. i c.o.	m3	0,104 zł	3591,61	4 037,688 zł	336,47 zł	576,81 zł
		kWh		92,61	19,170 zł	1,60 zł	2,74 zł

Tabela 4 zawiera obliczenia okresu zwrotu nakładów inwestycyjnych ponoszonych na instalacje oraz porównanie rocznych kosztów energii i nakładów inwestycyjnych dla poszczególnych rodzajów urządzeń grzewczych. Przedstawione zostało to również na wykresie rys. 8.

Obliczeń dokonano na podstawie wzorów 2÷3 (dla tabeli nr 3) oraz 4 (dla tabeli 4).

$$P_{ZR} \cdot C_{BP} = K_{RE} \text{ [zł/rok]} \quad (2)$$

gdzie:

$P_{ZR}$  – prognozowane zużycie roczne,

$C_{BP}$  – cena brutto paliwa,

$K_{RE}$  – roczny koszt energii.

$$\frac{R_{KE}}{D_{SG}} = K_{EM} \text{ [zł/m-c grz.]} \quad (3)$$

gdzie:

$D_{SG}$  – długość pełnego sezonu grzewczego,

$K_{EM}$  – przybliżony miesięczny koszt energii w sezonie grzewczym.

$$\frac{A-C}{B-D} = C_{ZI} \quad (4)$$

gdzie:

$C_{ZI}$  – czas zwrotu inwestycji,

$A$  – nakłady inwestycyjne konkretnej instalacji grzewczej [zł],

$B$  – roczne koszty energii dla gazowego kotła kondensacyjnego [zł/rok],

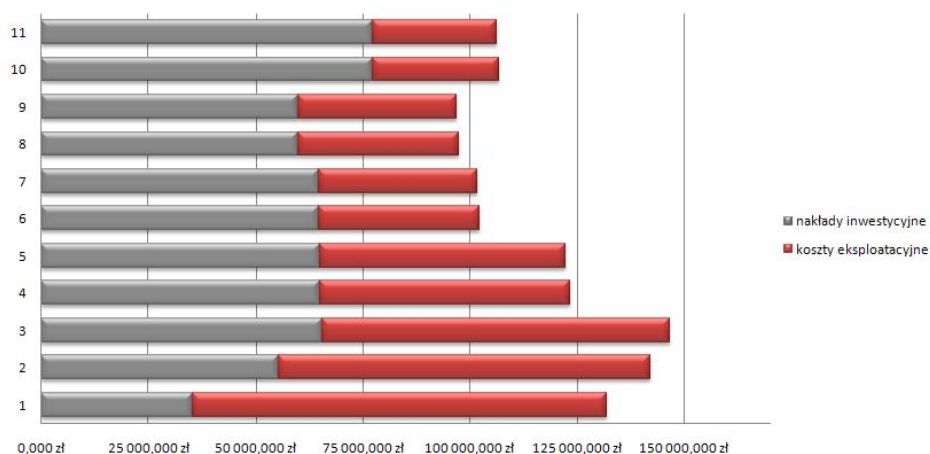
$C$  – Nakłady inwestycyjne kotłowni z gazowym kotłem kondensacyjnym [zł],

$D$  – Roczne koszty energii dla konkretnego urządzenia grzewczego [zł/rok].

**Tabela 4.** Określenie okresu zwrotu nakładów inwestycyjnych ponoszonych na różne rodzaje urządzeń grzewczych  
**Table 4.** Description of replacing coverage time of capital costs for different boiler units

Rodzaj urządzenia grzewczego	Koszty inwestycyjne [zł]	Roczne koszty energii [zł/rok]	20-letni koszt eksploatacji [zł/20 lat]	Czas zwrotu inwestycji [rok]
Gazowy kocioł kondensacyjny – GZ 50	35 342,788 zł	4 826,728 zł	96 534,552 zł	-
Gazowy kocioł kondensacyjny – GZ 50 z instalacją solarną wspomagającą podgrzew c.w.u.	55 479,84 zł	4 332,162 zł	86 643,240 zł	40,7
Gazowy kocioł kondensacyjny – GZ 50 z instalacją solarną wspomagającą podgrzew c.w.u. i c.o.	65 532,19 zł	4 056,858 zł	81 137,160 zł	39,2
Pompa ciepła powietrze/woda (P/W) – energia elektryczna taryfa całodobowa	64 997,400 zł	2 919,853 zł	58 397,055 zł	15,6
Pompa ciepła powietrze/woda (P/W) – energia elektryczna taryfa zmienna 40%/60%	64 997,400 zł	2 870,265 zł	57 405,295 zł	15,2
Pompa ciepła solanka/woda (S/W) wraz z pionowym kolektorem gruntowym – energia elektryczna taryfa całodobowa	64 689,418 zł	1 880,928 zł	37 618,568 zł	10,0
Pompa ciepła solanka/woda (S/W) wraz z pionowym kolektorem gruntowym – energia elektryczna taryfa zmienna 40%/60%	64 689,418 zł	1 848,985 zł	36 979,690 zł	9,9
Pompa ciepła solanka/woda (S/W) wraz z poziomym kolektorem gruntowym – energia elektryczna taryfa całodobowa	59 921,605 zł	1 880,928 zł	37 618,568 zł	8,3
Pompa ciepła solanka/woda (S/W) wraz z poziomym kolektorem gruntowym – energia elektryczna taryfa zmienna 40%/60%	59 921,605 zł	1 848,985 zł	36 979,690 zł	8,3
Pompa ciepła woda/woda (W/W) wraz z dwoma studniami – energia elektryczna taryfa całodobowa	77 422,450 zł	1 470,544 zł	29 410,881 zł	12,5
Pompa ciepła woda/woda (W/W) wraz z dwoma studniami – energia elektryczna taryfa zmienna 40%/60%	77 422,450 zł	1 445,570 zł	28 911,394 zł	12,4





Rys. 8. Porównanie kosztów po 20-tu latach (bez uwzględnienia wzrostu cen nośników)  
Fig. 8. Costs comparison after 20 years of usage (with constant fuel costs)

## 5. Wnioski

Powszechnie przyjmuje się, że opłacalna inwestycja to taka, która „zwraca się” w okresie nie dłuższym niż 15 lat.

Z powyższego wynika, że wszystkie pompy ciepła są opłacalnymi inwestycjami. Natomiast instalowanie kolektorów słonecznych okazało się zupełnie nietrafionym pomysłem, ponieważ okres zwrotu takiej inwestycji to około 40 lat, czyli dwa razy więcej niż żywotność takiej instalacji.

Po dokładnej analizie inwestycji najlepiej przedstawia się pompa ciepła solanka/woda z poziomym kolektorem gruntowym. Przyjmując kryterium 20 letniego działania kotłowni przez 11 lat instalacja generuje czysty zysk. Po 15 latach pracy takiego systemu, inwestor zarabia 35 267 zł. Zakładając jednak, że dom jednorodzinny projektowany jest na okres około 50 lat, musimy uwzględnić również wymiany sprzętu, którego żywotność wynosi około 20 lat. Uwzględniając koszty tejsze wymiany policzono zysk pompy ciepła nad kotłem kondensacyjnym. Dopiero po takim okresie widać jak bardzo opłacalna jest inwestycja w pompę ciepła. 123 932 zł, bo tyle oszczędza inwestor w okresie 40 lat, to kwota, której oszczędność warto przemyśleć.

Należy zwrócić uwagę również na inne pompy ciepła, które przynoszą niewiele mniejszy zysk. Głównie należy zwrócić uwagę na pompę solanka/woda z pionowym kolektorem gruntowym. Czas zwrotu tej instalacji to 10 lat, lecz może okazać się, że dla małej powierzchni działki, będzie to najlepsze rozwiązanie.

## Literatura

1. *Kolektory Słoneczne, Pompy Ciepła – Na Tak*. Praca zbiorowa pod kierunkiem Mirosława Zawadzkiego, Polska Ekologia 2003.
2. **Jeziński G.:** *Energia jądrowa wczoraj i dziś*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 2006.
3. Dokumentacja techniczna firm branżowych.
4. Przepisy Prawa Polskiego.
5. Polskie Normy:
  - a. Norma PN-82/B-02403 „Temperatury obliczeniowe zewnętrzne”
  - b. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz.690) oraz projektu nowelizacji z marca 2008 roku
  - c. Norma PN-94/B-03406 „Obliczanie zapotrzebowania ciepła pomieszczeń kubaturze do 600 m<sup>3</sup>”
  - d. Norma PN-B-02025 „Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego”
6. **Mizielińska K., Olszak J.:** *Gazowe i olejowe źródła ciepła małej mocy*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005.
7. **Rubik M.:** *Pompy ciepła, poradnik*. Wydanie trzecie rozszerzone, INSTAL 2006.
8. **Wnuk R.:** *Instalacje w domu pasywnym i energooszczędnym*. Przewodnik budowlany, 2007.
9. *Energia i budynek* Czasopismo Zrzeszenia Audytorów Energetycznych – PATRONAT: Ministerstwo Budownictwa, Ministerstwo Gospodarki.

## Analysis of Usage Possibilities of Renewable Energy Sources in Detached Family House. Solar Collectors, Heat Pumps

### Abstract

The aim of this paper is analysis of worthwhile usage devices using renewable energy sources compared to condensing heat source with boiler fittings and supporting devices.

The range of this analysis contains comparing capital and operation costs of different kind of boiler houses. The analysis was made on the example of average-sized detached family house, localized in Warsaw.

The first part shows construction, the matching method and vacuum collectors operating rules. The next paragraph shows construction and the example of calculations concerning matching each heat pump. Introduced different types of compression heat pumps: water – air, water – water (vertical open loop), water – brine (horizontal and vertical closed loop) and the direct expansion – water heat pump together with those ground sources.

Next, there is a comparison of central heating system with condensing gas boiler with the same system upgraded by sun collectors as also with heat pumps monovalent installation. Comparing concerns capital and operation costs in the period of 20 years. The last calculation is time of replacing coverage, which should be placed at the level of 10÷15 years for a good investment.

In present thesis it has been assumed that usage of renewable energy sources will decrease the amount of yearly spendings.

Calculations showed that all heat pumps are worthwhile investments. However, installing the sun collectors seemed to be unfortune idea, because the time of replacing coverage of such an investment is about 40 years what makes it two times longer than operating life of this installation.

After the exact installation analysis the best solution is the water – brine heat pump with horizontal closed loop. Considering the 20 years period of the boiler house working, during last 11 years installation generates net profits. After 15 years of usage of this system, the owner earns 35 267 zł. Establishing that the detached family house is designed for a period of at least 50 years, we must also calculate the costs of exchanging the equipment, which operating life is about 20 years. Taking into consideration the costs of those exchanging, there is a calculation showing heat pump profits over the condensing gas boiler. After that period we can see how profitable the investment into heat pump is. 123 932 zł, because his is the total amount of money that owner saves during 40 years. This is the sum which saving is worth to consider.

It is also necessary to pay attention to the other heat pumps, which bring a little smaller savings. Mostly I want to pay attention to heat pump with vertical closed loop. The time of replacing coverage for this installation is also about 10 years, but it may occur that for the small lot area it will be the best solution.

The heat pump is a really good alternative source for a conventional boiler houses, especially to traditional ones. Heat pumps also take care about the natural environment and still satisfy the requirements of high tech heating sources.

