

---

# Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne stosowania pomp ciepła w budownictwie

---

Jarosław Wasilczuk, Marian Sobiech

---

## STRESZCZENIE

W referacie opisano problematykę dotyczącą źródeł ciepła stosowanych do ogrzewania budynków. Celem pracy jest analiza różnych rozwiązań źródeł ciepła, o mocy cieplnej źródła 150 kW, w kontekście nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji. Analiza obejmuje rozwiązania instalacyjne oparte na źródłach ciepła z kotłami kondensacyjnymi opalonymi gazem ziemnym lub olejem opalowym, pompy ciepła, a także, jako kombinacje tych urządzeń, hybrydowe rozwiązanie źródła ciepła. Ocena poszczególnych, technicznych rozwiązań źródeł ciepła przeprowadzona została za pomocą porównania kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych poprzez obliczenie wskaźnika Simple Pay Back Time (SPBT). W ocenie nie uwzględniano kosztów dotyczących projektowania, montażu instalacji do ogrzewania budynku oraz instalacji związanej z przygotowaniem ciepłej wody użytkowej. Koszty inwestycyjne uwzględniono tylko w odniesieniu do urządzeń i wyposażenia samego źródła ciepła o wydajności cieplnej odpowiadającej mocy 150 kW. Koszty eksploatacji odniesiono do zużywanej energii elektrycznej i wytwarzanej energii cieplnej. Analiza pozwala na sformułowanie wniosku, że rodzaj źródła ciepła, jaki należy zastosować w danym budynku, wiąże się z jego eksploatacją i przeznaczeniem. Istotne są również, oprócz czynnika ekonomicznego, możliwości pozyskiwania paliwa do wytwarzania energii cieplnej, które wywierają wpływ na decyzję o rodzaju systemu grzewczego. Ostatecznie wybór źródła ciepła zależy od możliwości technicznych pozyskania energii cieplnej, a przyjęte rozwiązanie wymaga wsparcia analizą ekonomiczną. W kontekście ekonomicznym spalanie drewna jest najbardziej opłacalnym sposobem, a w przypadku spalania gazu ziemnego, jeśli jest dostępny, najlepsze źródło ciepła – to gazowy kocioł kondensacyjny, gdy zaś porównamy kocioł olejowy, to zastosowana pompa ciepła zwraca się po upływie 4 lat. Ostatecznie, wybór źródła ciepła wymaga analizy ekonomicznej, oceny aspektów ochrony środowiska, dostępu do paliwa i sposobu eksploatacji budynku.

---

## Wprowadzenie

Aplikacyjne istnienie pomp ciepła w budownictwie ma swoje początki w końcu lat 80. ubiegłego stulecia. Wsparcie w stosowaniu instalacji z pompami ciepła realizuje IEA (*International Energy Agency*) poprzez *Heat Pump Programme*, skupiający: USA, Wielką Brytanię, Kanadę, Francję, Niemcy, Austrię, Japonię, Holandię, Włochy, Norwegię, Hiszpanię, Meksyk, Szwecję i Szwajcarię. Propagowanie stosowania pomp ciepła realizowane jest również przez centrum edukacyjne HPC (*Heat Pump Centre*) oraz publikowanie informacji technicznych, wiedzy edukacyjnej i promocji pomp ciepła w biuletynie informacyjnym (*IEA Heat Pump Centre Newsletter*). W 2001 roku w Europie powstał odpowiednik międzynarodowego stowarzyszenia – EHPA (*European Heat Pump Association*). W Polsce, w 2003 roku, również powstała grupa promująca stosowanie pomp ciepła – PSPC (Polskie Stowarzyszenie Pomp Ciepła), skupione w środowisku Politechniki Gdańskiej oraz istnieją grupy badawczo-techniczne na uczelniach technicznych, rozwijające problematykę stosowania pomp ciepła w rozwiązaniach z odnawialnymi źródłami energii.

Teoretyczne podstawy pomp ciepła zostały podane w 1852 r. przez W. Thomson'a, który wyniki swojej pracy wdrożył do warzenia soli. Aktualnie, na świecie pompy ciepła

stosowane są w milionach, również w Polsce wszystkie uczelnie techniczne prowadzą analizy i badania w dziedzinie rozwiązań instalacji grzewczo-chłodniczych z pompami ciepła. Zastępują one konwencjonalne źródła ciepła w celu pokrywania strat ciepła badanych budynków.

Z różnych badań pomp ciepła wynika, że w porównaniu do mocy prądu włożonej do zasilania pompy ciepła – otrzymuje się dwu-pięciokrotnie większą ilość ciepła pobieranego z tak zwanego dolnego źródła, jakim może być powietrze, grunt lub woda. W wielu krajach Europy obserwowany jest znaczący wzrost stosowania pomp ciepła, który przykładowo w Szwecji wynosi 95% w nowych obiektach, a w Szwajcarii – 60%. W Polsce zastosowanie pomp ciepła do ogrzewania budynków nie przekracza 5%. Każdą z pomp ciepła traktuje się jako urządzenie, które przetwarza z mocy, prądu elektrycznego, poprzez sprężarkę moc czynnika roboczego i podwyższa jego temperaturę z niskiej wartości na wyższą, do 65°C. W niniejszym artykule pompy ciepła są przedmiotem analiz ekonomiczno-technicznych w celu określenia, na ile zasadne jest stosowanie pomp ciepła do ogrzewania oraz chłodzenia budynków, w porównaniu z rozwiązaniami tradycyjnymi, jakimi są kotłownie na różne paliwa lub węzły ciepłne. Aktualnie dostępne techniki inżynierskie projektowania domów, w zakresie pokrywania strat ciepła budynków, wskazują na inteligentne systemy nadzoru i monitoringu instalacji oraz wytwarzania ciepła budynku, które zapewniają optymalizację prądu oraz ciepła. Większość budynków aktualnie eksploatowanych jest oparta na wodnych instalacjach centralnego ogrzewania. Celem modyfikacji istniejących instalacji jest obniżanie kosztów eksploatacji, co można osiągnąć przez zastosowanie nowoczesnego kotła z automatyką, z jednoczesnym zastosowaniem pompy ciepła, kolektorów słonecznych do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Instalacje budynku z różnymi źródłami ciepła są rozwiązaniem hybrydowym i w porównaniu do rozwiązań opartych na jednym źródle ciepła, opalonym paliwem kopalnym, stanowią źródło ciepła o mniejszej emisji dwutlenku węgla. Celem jednoznacznego określenia, które źródło ciepła jest najlepsze, potrzebna jest ekonomiczna analiza różnych systemów wytwarzania ciepła, zarówno pod względem kosztów inwestycyjnych, jak i eksploatacyjnych.

### **Charakterystyka pomp ciepła**

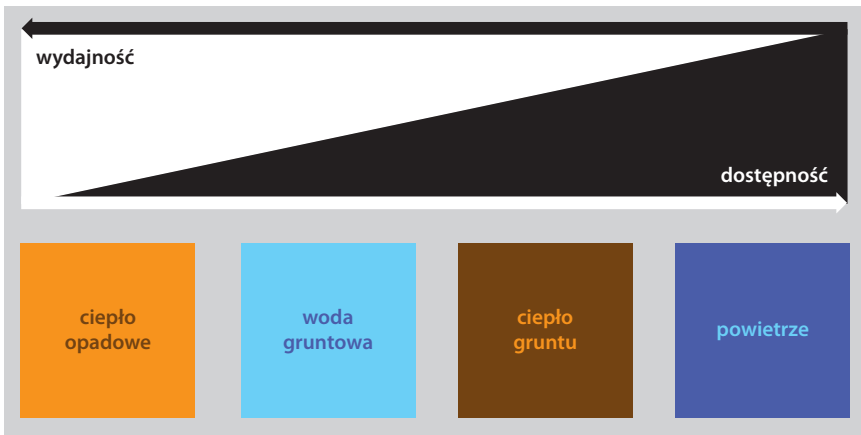
Z uwagi na typy konstrukcyjne pomp ciepła, można podzielić je na:

- sprężarkowe,
- sorpcyjne (dzielące się na pompy ciepła absorpcyjne i adsorpcyjne),
- termoelektryczne,
- pompy ciepła Vuilleumiera.

Źródło zaopatrujące w ciepło niskotemperaturowe (wymagane do odparowania czynnika roboczego w parowniku pompy ciepła) powinno charakteryzować się następującymi cechami:

- znaczącą pojemnością cieplną i możliwie wysoką stałą temperaturą;
- nieobecnością zanieczyszczeń, skutkujących korozją instalacji oraz powstawaniem osadów;

Rys. 1. Klasyfikacja źródeł ciepła



Źródło: <http://globenergia.pl/pompy-ciepła>

- dostępnością oraz niskimi nakładami pieniężnymi na instalację służącą do pozyskiwania i transportu ciepła.

Na rys. 1. pokazano klasyfikację źródeł ciepła niskotemperaturowego, które mogą zostać wykorzystane do zasilania parowaczy w pompach ciepła. W zależności od zastosowania – źródła te mogą być wybierane pojedynczo w układach monowalentnych lub można utworzyć układy zasilane z wielu, choć w większości wypadków – dwóch, źródeł, czyli układów biwalentnych. Instalacje do ogrzewania budynków w klimacie umiarkowanym, w którym występują doby o ujemnej temperaturze powietrza zewnętrznego o wartościach zbliżonych do minus 20°C, poza pompą ciepła muszą być wyposażone również w tradycyjne źródła ciepła – kocioł grzewczy, grzałki elektryczne itp. W dobrze izolowanych termicznie budynkach trafnym rozwiązaniem jest rozwiązanie hybrydowe, zawierające pompę ciepła i kocioł, przy czym pompa ciepła ma wydajność cieplną na poziomie 60-70% zapotrzebowania na ciepło budynku, a kocioł – 30-40% tego zapotrzebowania.

Aby ocenić pompę ciepła lub kompletną instalację pomp ciepła, wprowadzono współczynnik efektywności *COP*. Współczynnik *COP* opisuje stosunek mocy grzewczej do włożonej mocy napędowej:

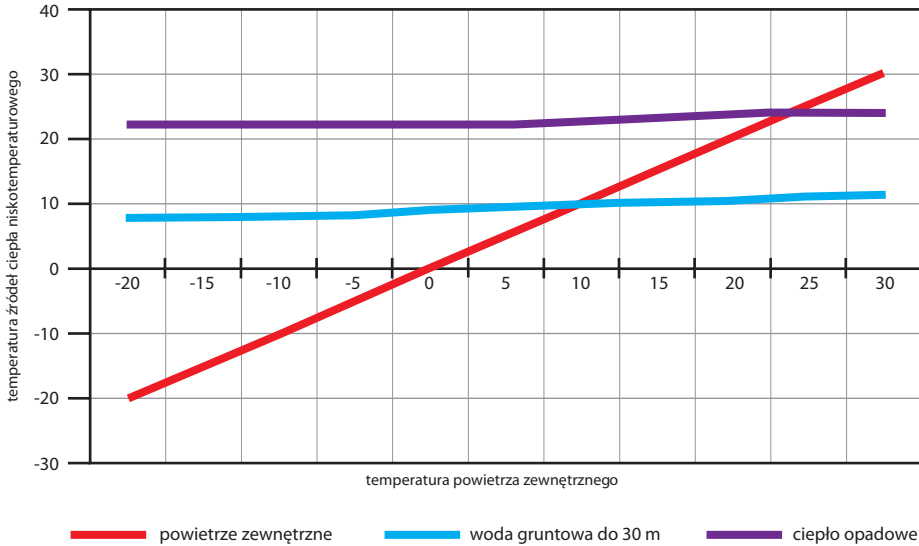
$$COP = \frac{P_p}{P_e} \quad (1),$$

gdzie:

$P_p$  – moc grzewcza pompy ciepła [kW],

$P_e$  – moc elektryczna potrzebna do napędu sprężarki [kW].

**Rys. 2. Zmienność temperatury źródeł ciepła niskotemperaturowego w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego**



Istotną cechą, oddziaływającą na współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła, jest temperatura dolnego źródła oraz jej zmiany. Dobrą sprawność, wyrażaną współczynnikiem COP o wartości 3-5, można uzyskać przy temperaturze dolnego źródła ok. plus 22°C. W źródłach naturalnych taką temperaturę nie zawsze można uzyskać, w eksploatacji wynosi ona ok. plus 8°C i wartość jej jest uzależniona od stanu zawilgocenia ośrodka gruntu oraz od pory roku. W źródłach sztucznych temperatura ciepła opadowego cechuje się stałą wartością, wynoszącą nawet ok. plus 27°C, która wynika z przebiegu procesu technologicznego i nie zależy od pory roku.

Istotną rzeczą w przypadku pomp ciepła, które zasilają instalacje centralnego ogrzewania, jest zgodność temperatury źródła z wymaganą mocą grzejną pompy ciepła.

Dostarczana ilość ciepła w sezonie grzewczym jest zmienna w czasie, ponieważ zależy od warunków atmosferycznych, przy czym temperatura większości naturalnych źródeł ciepła niskotemperaturowego nie jest zgodna, tzn. przy najwyższym zapotrzebowaniu na moc cieplną do ogrzewania jest ona najmniejsza, przez co zmniejsza się efektywność pracy pompy ciepła. Najbardziej kompatybilnymi źródłami są wody podziemne, potem w mniejszym stopniu grunt oraz wody powierzchniowe, a najmniejszym – powietrze zewnętrzne. Jeśli temperatura powietrza zewnętrznego przyjmuje wartości ujemne, wartość współczynnika COP zmierza do jedności, co oznacza, że pompa pracuje jak nagrzewnica elektryczna. Ze wzoru możemy obliczyć moc cieplną  $Q_{gr}$ , którą należy pobrać ze źródła ciepła niskotemperaturowego:

$$Q_o = Q_g \frac{COP-1}{COP} \text{ [kW]} \quad (2),$$

gdzie:

$Q_g$  – moc grzejna pompy ciepła (moc oddawana w skraplaczu) [kW],

COP – współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła [Katalog... ; Koniszewski, 2008; Sadłowska-Sałęga].

Najłatwiej dostępnym źródłem energii odnawialnej jest powietrze atmosferyczne i dlatego jest często wykorzystywane do zasilania parowaczy pomp o mocy małej i średniej (dotyczy to ogrzewania budynków jednorodzinnych lub przygotowania C.W.U.). Powietrze, jako źródło ciepła niskotemperaturowego, posiada również cechy niekorzystne, takie jak: małe wartości współczynników przejmowania ciepła, a co za tym idzie i – współczynników przenikania ciepła w parowaczach pomp ciepła oraz duże wahania temperatur powietrza w przedziale czasu, odniesionym do doby oraz sezonu ogrzewania budynku.

Roczna średnia współczynnika wydajności grzejnej sprężarkowej pompy ciepła z parowaczem zasilanym powietrzem atmosferycznym, stosowanej w systemach ogrzewania niskotemperaturowego, wynosi  $COP = 1 \div 2,5$  [Eicker 2014; Katalog... ; Koniszewski, 2008; Sadłowska-Sałęga], przy czym wartość  $COP = 1$  przypada na nie więcej niż 30 dni sezonu ogrzewania. Zimy z ostatnich 6 lat dostarczają temperatur powietrza zewnętrznego, gdzie wartość  $COP = 1$  zaledwie kilka dni.

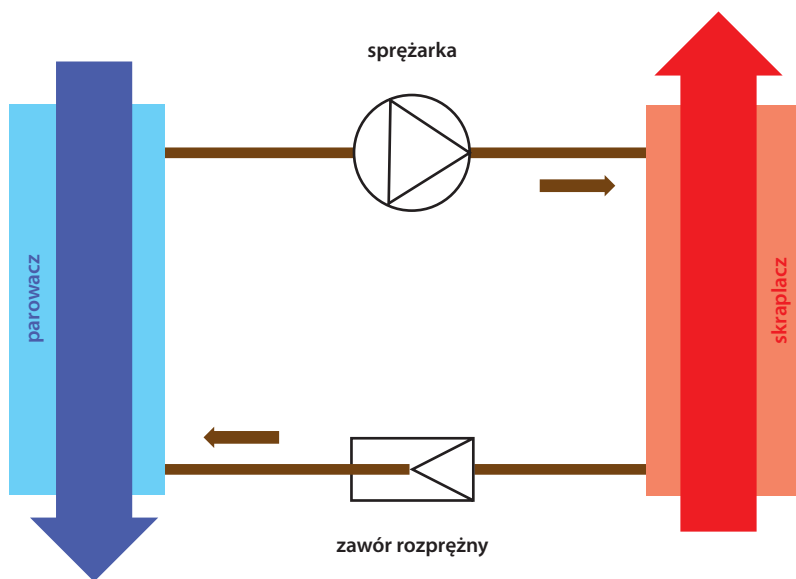
Woda powierzchniowa lub gruntowa, jako źródło ciepła niskotemperaturowego, posiada:

- duże współczynniki przejmowania ciepła, co pozwala na budowanie wymienników ciepła o konstrukcji zwartej,
- ogólną dostępność: jeziora, rzeki, studnie (wody gruntowe o temp.  $5 \div 12^\circ\text{C}$ ).

Jednym z najczęstszych problemów eksploatacyjnych jest: korozja wymienników ciepła, narastanie szlamu na ściankach studni oraz zanieczyszczenia biologiczne. W instalacjach z wodnym dolnym źródłem ciepła średnioroczna wartość współczynnika wydajności grzejnej sprężarkowej pompy ciepła wynosi od 3 do 3,5 [Katalog... ; Koniszewski, 2008]. Do zasilania parowacza pompy ciepła często wykorzystuje się również ciepło zawarte w gruncie. Zazwyczaj stosuje się wtórny nośnik ciepła, który jest w obiegu zamkniętym, przez tzw. wymiennik gruntowy (poziomy lub pionowy) umieszczony w gruncie. Nośnikiem jest woda lub płyny nisko krzepnące (np. wodny roztwór glikolu etylenowego). W zależności od sezonu (zimowego bądź letniego) i głębokości – temperatury gruntu mogą oscylować w przedziale od plus  $4^\circ\text{C}$  do  $10^\circ\text{C}$ . Przy głębokościach powyżej  $10 \div 15$  m ustają ruchy termiczne gruntu (zależne od pory roku), a temperatura jest niezmienna, w granicach  $8^\circ\text{C} \div 10^\circ\text{C}$ .

Przy wyborze pompy ciepła należy zwrócić szczególną uwagę na to, jaką temperaturę mogą one przekazać, bo od jej wartości zależy wykorzystanie energii. Jeżeli uzyskane ciepło będziemy wykorzystywali w procesie produkcyjnym, to temperatura uzyskiwana przez pompę ciepła do niskotemperaturowych procesów produkcyjnych powinna mieścić się w zakresie od  $25 \div 60^\circ\text{C}$ . Jeżeli jednak ciepło uzyskane przez pompę będziemy wykorzystywali do ogrzewania domu, to wartości temperatury zależą od rodzaju sprzętu grzew-

Rys. 3. Uproszczony schemat działania pompy ciepła



Źródło: opracowanie własne

czego. Do podgrzewania wody użytkowej i ogrzewania grzejnikowego temperatura wynosi od 55÷60°C, natomiast w przypadku ogrzewania sufitowego i podłogowego powinna wynosić od 25÷45°C. Uzyskiwanie takiej temperatury następuje poprzez zastosowanie zaworu mieszającego przed pompą obiegową danego obiegu do ogrzewania. Z doświadczeń własnych wynika, że im niższa jest różnica temperatur wody grzewczej i dolnego źródła ciepła, tym wartość COP jest wyższa, a zatem pompy ciepła są odpowiednie dla systemów do ogrzewania budynków, jako instalacje niskotemperaturowe, jak przykładowo ogrzewanie podłogowe. Według danych producentów współczesne pompy ciepła osiągają wskaźnik efektywności COP od 3,5 do 5,5 (zależy to od wybranego dolnego źródła ciepła) [Katalog... ; Rubik]. Nie jest to jednak wyznacznikiem opłacalności pompy ciepła, ponieważ składa się na to wiele innych czynników ekonomicznych, np. cena zakupu energii elektrycznej i koszty inwestycyjne instalacji jako całości, a nie tylko źródła ciepła. Wskaźnik pracy rocznej wyraża stosunek oddanego ciepła użytecznego do użytej energii napędowej, uwzględniając prąd pobierany przez pompy obiegowe, regulator elektroniczny itp. Wskaźnik jest wartością mierzoną dla całkowitej instalacji pompy ciepła w skali roku [Sądłowska-Sałęga].

Obecnie produkowane pompy ciepła [Katalog... ; Rubik] mają nie tylko możliwość ogrzewania budynków, ale także ich chłodzenia. Wykorzystuje się tu ten sam system, który stosuje się w przypadku ogrzewania (rys. 3.).

Aby wykorzystać pompę ciepła do chłodzenia pomieszczeń, wystarczy odwrócić kierunek tłoczenia sprężarki i odwrócić zawór rozprężny, zmieniając w ten sposób kierunek przepływu czynnika chłodniczego, a tym samym – i przepływu ciepła. Prosta technicznie realizacja polega na wbudowaniu w obieg czynnika zaworu czterodrożnego i drugiego zaworu rozprężnego. Zawór czterodrożny pozwala zachować kierunek tłoczenia sprężarki, niezależnie od wybranej funkcji systemu (ogrzewanie czy chłodzenie). W trybie ogrzewania sprężarka tłoczy gazowy czynnik chłodniczy do wymiennika ciepła systemu grzewczego. Tam czynnik skrapla się, oddając ciepło systemowi grzewczemu (centralne ogrzewanie wodne lub nagrzewnice powietrza). Dla trybu chłodzenia odwraca się kierunek przepływu przy pomocy zaworu czterodrożnego. Pierwotny skraplacz staje się teraz parowaczem, który odbiera ciepło z pomieszczeń i przekazuje je czynnikowi chłodniczemu. Gazowy czynnik chłodniczy dopływa poprzez zawór czterodrożny do sprężarki, a stamtąd do wymiennika ciepła, który przekazuje ciepło do pierwotnie dolnego źródła ciepła, najczęściej do środowiska powietrza zewnętrznego, gruntu lub wody gruntowej.

### **Nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacji**

Do analizy porównawczej rozpatrywano źródło ciepła o mocy 150 kW, w układzie hybrydowym moc pompy ciepła wynosi 70 kW, a moc kotła 80 kW. W odniesieniu do pomp ciepła do analizy przyjęto pompy ciepła renomowanej firmy Robur typu PRO w klasie A+++ [Żakiewicz, 2014]. Podstawowe cechy, które przemawiają za tym, aby właśnie urządzenie firmy Robur poddać analizie opłacalności, to:

- zasilanie gazem – aktualnie najtańszy z „czystych” w obsłudze paliw (brak popiołu) oraz najbardziej stabilny nośnik energii;
- kondensacja – dzięki odzyskaniu energii zawartej w spalinach poprawiamy sprawność urządzenia nawet o 15%.

W nakładach inwestycyjnych uwzględnione zostały źródła ciepła wraz z osprzętem. W kalkulacji nie uwzględniono natomiast instalacji w węźle cieplnym oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej. W celu maksymalnego wykazania różnic inwestycyjnych pominięte zostały koszty montażu, obsługi, nadzoru i projektowania. I tak, w przypadku kotłowni w składzie nakładów inwestycyjnych ujęte zostały między innymi:

- źródło ciepła;
- osprzęt zabezpieczający i dodatkowy oraz automatyka;
- zbiornik oleju opałowego wraz z instalacją;
- wewnętrzna instalacja gazowa (w przypadku zasilania gazem ziemnym – przyłącze do 50 m).

W przypadku zastosowania pomp ciepła – koszty inwestycyjne zawierają między innymi:

- źródło ciepła, jako pompa ciepła firmy Robur typu PRO;
- osprzęt zabezpieczający i dodatkowy oraz automatykę;
- gruntowy wymiennik ciepła.

W celu podsumowania nakładów inwestycyjnych dla poszczególnych wariantów źródeł ciepła, dokonano tabelarycznego zestawienia obliczonych wielkości.

**Tabela 1. Zestawienie nakładów inwestycyjnych różnych źródeł ciepła**

Wariant	Opis wariantu	Stosunek ceny do wariantu IV [%]	Wartość inwestycji w tys. PLN
I	Gazowa kotłownia kondensacyjna	12	49
II	Olejowa kotłownia kondensacyjna	19	73
III	Pompa ciepła typu woda/woda	46	175
IV	Pompa ciepła typu solanka/woda	100	380
V	Pompa ciepła typu solanka/woda współpracująca z gazowym kotłem kondensacyjnym	59	225
VI	Pompa ciepła typu powietrze/woda współpracująca z gazowym kotłem kondensacyjnym	58	221
VII	Gazowa absorpcyjna pompa ciepła współpracująca z gazowym kotłem kondensacyjnym, studnie głębinowe	50	190
VIII	Gazowa absorpcyjna pompa ciepła z olejowym kotłem kondensacyjnym, sondy pionowe	73	278

Na podstawie analizy danych, zestawionych w tabeli 1., można stwierdzić, że największe nakłady inwestycyjne występują w przypadku zastosowania wariantu IV, czyli samej pompy ciepła typu: solanka-woda, zaraz po tym rozwiązaniu znalazła się gazowa absorpcyjna pompa ciepła, współpracująca z olejowym kotłem kondensacyjnym. Natomiast nakłady inwestycyjne dla wariantów V-VII kształtują się na podobnym poziomie, najmniej kosztuje kotłownia gazowa z kotłem kondensacyjnym, nieco drożej kotłownia olejowa z kotłem kondensacyjnym.

W celu podsumowania kosztów eksploatacyjnych w sezonie grzewczym poszczególnych wariantów źródeł ciepła, dokonano tabelarycznego zestawienia obliczonych wielkości kosztów eksploatacyjnych.

W celu określenia opłacalności poszczególnych wariantów źródeł ciepła – posłużono się metodą SPBT (*Simple Pay Back Time*), czyli tzw. metodą prostego czasu zwrotu nakładów.

Metoda ta określa czas (w latach), w którym oszczędności eksploatacyjne zrównoważą różnicę w nakładach inwestycyjnych.

$$SPBT = \frac{\Delta N}{\Delta Q} \text{ [lata]} \quad (3),$$

gdzie:

$\Delta N$  – nakłady inwestycyjne [zł],

$\Delta Q$  – roczne oszczędności [zł/a].



**Tabela 2. Podsumowanie kosztów eksploatacyjnych różnych źródeł ciepła**

Wariant	Opis wariantu	Stosunek kosztu do wariantu nr II [%]	Wartość w tys. PLN
I	Kotłownia gazowa kondensacyjna	52	29
II	Kotłownia olejowa kondensacyjna	100	54
III	Pompa ciepła typu woda/woda	38	21
IV	Pompa ciepła typu solanka/woda	31	17
V	Pompa ciepła typu solanka/woda współpracująca z gazowym kotłem kondensacyjnym	33	18
VI	Pompa ciepła typu powietrze/woda współpracująca z gazowym kotłem kondensacyjnym	39	22
VII	Gazowa absorpcyjna pompa ciepła współpracująca z gazowym kotłem kondensacyjnym, studnie głębinowe	38	21
VIII	Gazowa absorpcyjna pompa ciepła z olejowym kotłem kondensacyjnym, sondy pionowe	43	24

W opracowaniu określano opłacalność inwestycji w pompy ciepła (wariant III-VIII) w stosunku do kotłów gazowych i kotła olejowego (wariant I i II). Podstawienie do wzoru wartości, które otrzymano w kalkulacjach, dało następujące tabelaryczne zestawienie wyników – tabela 3.

Z zestawienia danych w tabeli 3. wyraźnie wynika, że inwestycja, w którekolwiek źródło ciepła zwróci się w mniej niż 4 lata w stosunku do kotłowni olejowej – dlatego jest to zdecydowanie najmniej ekonomiczny wariant. W przypadku kotłowni gazowej zwrot zwiększonego nakładu inwestycyjnego, w stosunku do innych źródeł, oscyluje w przedziale 13-23 lat. Czas oczekiwania na zwrot inwestycji jest nadal dość długi, zatem analiza wyboru wariantu lepszego niż kocioł gazowy wymaga zastanowienia, zwłaszcza, że obecnie na rynku pojawia się wiele alternatywnych urządzeń grzewczych wartych zainteresowania. Poddając analizie wybór źródła ciepła, jaki chcemy zastosować do ogrzewania wybranego budynku, nie możemy rozstrzygać tylko kwestii nakładu finansowego i kosztu zwrotu inwestycji, ale również inne kryteria, jak przykładowo dostępność do paliwa.

Często ze względu na warunki gruntowe, wodne, brak sieci gazowej, za małą ilość dostępnej energii elektrycznej lub inne czynniki – nie mamy możliwości skorzystania z idealnego dla danej inwestycji rozwiązania. Dlatego przy wyborze źródła ciepła najpierw musimy określić ogólnie możliwości wyboru paliwa, a dopiero później zdecydować się na spełniający nasze oczekiwania wariant. W tabeli 4. przedstawiono podstawowe wady oraz zalety poszczególnych źródeł, aby przybliżyć wymagania, jakie muszą spełniać niektóre źródła ciepła.

Tabela 3. Ocena opłacalności poszczególnych źródeł ciepła

Wariant	Opis rozwiązania	SPBT [lata]	
		Wariant I	Wariant II
		Odniesienie danego wariantu źródła ciepła do kotłowni gazowej	Odniesienie danego wariantu źródła ciepła do kotłowni olejowej
III	Pompa ciepła typu woda/woda	13	3
IV	Pompa ciepła typu solanka/woda	23	2
V	Pompa ciepła typu solanka/woda współpracująca z gazowym kotłem kondensacyjnym	13	3
VI	Pompa ciepła typu powietrze/woda współpracująca z gazowym kotłem kondensacyjnym	19	3
VII	Gazowa absorpcyjna pompa ciepła współpracująca z gazowym kotłem kondensacyjnym, studnie głębinowe	15	3
VIII	Gazowa absorpcyjna pompa ciepła z gazowym kotłem kondensacyjnym, sondy pionowe	16	4

### Podsumowanie

Po analizie wszystkich ośmiu wariantów źródeł ciepła uzyskano szereg informacji dotyczących kosztów ich eksploatacji oraz inwestycji. Otrzymane wyniki dowodzą, iż na chwilę obecną rozwiązanie w postaci pomp ciepła jest drogie i nie zawsze opłacalne. Z przedstawionych obliczeń i kalkulacji wynika, że opłacalność wszystkich porównywalnych źródeł ciepła, w stosunku do kotłowni olejowej, jest bezsprzeczna (SPBT 2-4 lata). Z przeprowadzonej analizy wynika również, że najniższy wskaźnik SPBT otrzymujemy, porównując kotłownię gazową z rozwiązaniem mieszanym – kotłownia gazowa/pompa ciepła solanka/woda (odwierty pionowe) oraz pompę ciepła woda/woda (z dolnym źródłem ciepła w postaci studni głębinowych). Kolejnymi wariantami ze stosunkowo niskim wskaźnikiem SPBT jest powietrzna gazowa pompa ciepła oraz gruntowa gazowa pompa ciepła. Okres zwrotu nakładów inwestycyjnych, w stosunku do kotłowni gazowej, dla dwóch pierwszych wariantów jest równy 13 lat, dla dwóch następnych natomiast – 15 i 16 lat.

Należy zwrócić jednak uwagę, że sprężarkowe pompy ciepła solanka/woda, woda/woda oraz absorpcyjna pompa ciepła z odwiertami pionowymi w okresie letnim wykorzystywać można również do klimatyzacji budynku [Eicker, 2014; Sadłowska-Sałęga; Żakiewicz, 2014]. Zaznaczyć należy również fakt, iż eksploatacja dolnego źródła ciepła w okresie letnim będzie

**Tabela 4. Podstawowe zalety i wady poszczególnych omawianych źródeł ciepła**

Wariant	Opis wariantu	Zalety	Wady
I	Kotłownia gazowa kondensacyjna	niski koszt inwestycyjny, praca w kaskadzie zapewnia wysoki poziom bezpieczeństwa	wysokie koszty eksploatacji, budowa systemu odprowadzania spalin, wykonanie przyłącza gazowego
II	Kotłownia olejowa kondensacyjna	niski koszt inwestycyjny	budowa systemu odprowadzania spalin, należy przewidzieć dodatkowe miejsce składowania oleju, emisja gazów cieplarnianych
III	Pompa ciepła typu woda/woda	wysoka sprawność urządzenia, redukcja emisji gazów cieplarnianych, możliwość chłodzenia pasywnego lub rewersyjnego, brak systemu odprowadzania spalin, modułowa praca paru jednostek, urządzenia przystosowane do postawienia na zewnątrz	budowa dolnego źródła ciepła w postaci studni żrutowej oraz czterpalnej, konieczność przeprowadzenia badań geologicznych, wykonanie operatu wodno-prawnego, wykonanie projektu geologicznego i uzyskanie zgody na wiercenia z Urzędu Górniczego, wykonanie stacji uzdatniania wody
IV	Pompa ciepła solanka/woda	wysoka sprawność urządzenia, redukcja emisji gazów cieplarnianych, możliwość chłodzenia pasywnego lub rewersyjnego, brak systemu odprowadzania spalin	budowa dolnego źródła ciepła w postaci kosztownych odwiertów pionowych, wykonanie projektu geologicznego i uzyskanie zgody na wiercenia z Urzędu Górniczego
V	Pompa ciepła solanka/woda współpracująca z gazowym kotłem kondensacyjnym	wysoka sprawność urządzenia, redukcja emisji gazów cieplarnianych, możliwość chłodzenia pasywnego lub rewersyjnego	budowa dolnego źródła ciepła w postaci odwiertów pionowych, wykonanie projektu geologicznego i uzyskanie zgody na wiercenia z Urzędu Górniczego, wykonanie przyłącza gazowego, budowa systemu odprowadzania spalin
VI	Pompa ciepła powietrze/woda współpracująca z gazowym kotłem kondensacyjnym	redukcja emisji gazów cieplarnianych, możliwość chłodzenia pasywnego lub rewersyjnego, latem tania C.W.U.	wykonanie przyłącza gazowego, obniżona sprawność w okresach przejściowych, budowa systemu odprowadzania spalin
VII	Gazowa absorpcyjna pompa ciepła współpracująca z gazowym kotłem kondensacyjnym, studnie głębinowe	wysoka sprawność urządzenia, redukcja emisji gazów cieplarnianych, możliwość chłodzenia pasywnego lub rewersyjnego, modułowa praca paru jednostek, urządzenia przystosowane do postawienia na zewnątrz	wykonanie przyłącza gazowego
VIII	Gazowa absorpcyjna pompa ciepła z olejowym kotłem kondensacyjnym, sondy pionowe	wysoka sprawność urządzenia, redukcja emisji gazów cieplarnianych, możliwość chłodzenia pasywnego lub rewersyjnego, modułowa praca paru jednostek, urządzenia przystosowane do postawienia na zewnątrz	wykonanie przyłącza gazowego, budowa dolnego źródła ciepła w postaci odwiertów pionowych, wykonanie projektu geologicznego i uzyskanie zgody na wiercenia z Urzędu Górniczego

prowadzić do jego regeneracji i tym samym przygotowywać na sezon grzewczy. Natomiast w tym samym okresie (tj. maj-wrzesień) atutem powietrznej absorpcyjnej pompy ciepła jest bardzo duża sprawność na przygotowanie ciepłej wody użytkowej oraz do ewentualnego podgrzewu np. basenu kąpielowego.

Najrozsądniejszym rozwiązaniem jest wariant nr V, składający się ze sprężarkowej pompy ciepła solanka/woda oraz kotła gazowego kondensacyjnego. Wariant III, opisujący sprężarkową pompę woda/woda, również wydaje się być dość interesujący inwestycyjnie, jednak tylko w przypadku, gdy zasilany obiekt znajduje się na terenie, który posiada odpowiednie warunki gruntowo-wodne, zwłaszcza jeżeli chodzi o jakość wody przewidzianej do czerpania ze studni głębinowych.

Przed ostateczną decyzją wyboru źródła ciepła należy również dokładnie przeanalizować całą instalację grzewczą, specyfikę jej pracy oraz potrzeby, aby precyzyjnie dobrać rozwiązanie jednostki grzewczej. Na chwilę obecną nie ma na tyle efektywnego rozwiązania technicznego, aby nazwać je „uniwersalnym”. Każdy analizowany przypadek należy rozpatrywać indywidualnie. Jednak zdecydowanie można stwierdzić, że sam sens stosowania odnawialnych źródeł ciepła nie pozostawia żadnych wątpliwości, zważywszy na fakt, że z roku na rok efektywność tych urządzeń wciąż rośnie, co przekłada się na coraz większą opłacalność tego typu rozwiązań.

## **Bibliografia**

- Eicker U., R. 2014, *Energy efficient buildings with solar and geothermal resources*, Stuttgart.
- Grabowski G., R. 2006, *Pompy ciepła. Poradnik projektanta*, Wydanie I.
- Katalog..., Katalog techniczny firm Robur i Viessmann.
- Koczyk i inni 2005, Koczyk H., Antoniewicz B., Basińska M., Górka A., Makowska-Hess R. 2005, *Ogrzewnictwo praktyczne. Projektowanie. Montaż. Eksploatacja*, Poznań.
- Koniszewski A., R. 2008, *Przegląd konstrukcji wraz z oceną parametryczną dostępnych na rynku sprężarkowych pomp ciepła*, Gdańsk.
- Materiały projektowe..., Materiały projektowe firmy Junkers, 2013.
- Rubik M.: *Pompy ciepła. Poradnik. Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”*.
- PN-B-02025, Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego.
- Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.-R 2008, *Kompendium wiedzy: Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo*, Wrocław.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Sadłowska-Sałęga A., *Alternatywne źródła energii stosowane w budownictwie*, Kraków.

Taryfy dla usług dystrybucji energii elektrycznej dla Grupy Enea; nr 5, rok 2013.

Viessmann, „Zeszyty Fachowe. Pompy ciepła”, Wrocław 2008.

Wróblewski J., <http://www.bzg.pl/node/355> .

Zalewski W. R. 1998, *Pompy ciepła podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań*, Kraków.

Żakiewicz M., R. 2014, *Analiza techniczna – ekonomiczna zasadność stosowania pomp ciepłych w ogrzewnictwie*, praca dyplomowa przechowywana w archiwum Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania w Warszawie.

#### **strony internetowe**

[www.energiaibudynek.pl](http://www.energiaibudynek.pl)

<http://globenergia.pl/pompy-ciepła>

<http://www.ignis.agh.edu.pl>

---

**The investment and operational cost of using heat pumps in the construction industry HE**

**ABSTRACT**

The article describes the problems related to the heat sources used for heating buildings. The purpose of the work is to analyze different types of heating sources used in buildings with the heating capacity 150 kW in the context of investment and operational costs. The analysis covers technical solutions of heating sources based on the condensation boilers and heat pumps. The combination of mentioned before sources was also analyzed, these heat sources are hybrid ones. The remark of a certain solution was based on the financial comparison of investment and operational costs in the case of Simple Pay Back Time (SPBT) index. The cost analysis does not cover costs of designing, fixing works concerning the installation of heating building and also costs of hot water plumbing. The investment costs cover every device and elements of a certain heating source with the capacity of 150 kW. The costs concern to consumption of electrical energy and generated heat. The type of the heat source, to be applied in a given building, is associated with the operation and purpose of this building. In addition to the economic factor, the possibility to obtain fuel for heat generation is also important and influences the decision about the type of the heating system. In the case of the economy the cheapest heat source is a wood burning, the next one is a natural gas that is burned in a condensate boiler. The solution based on a heat pump is still more expensive than a conventional heat source, but on the base of the analysis of eight heat source solutions, the oil source makes that a heat pump becomes beneficial in less than four years. Finally, the choice of the heating source for a certain building requires multi areas of analysis, especially in the field of an environment, economy and a way of exploitation of the building.

---

**dr inż. Jarosław Wasilczuk** – wykładowca Wydziału Architektury Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania w Warszawie; specjalizuje się w technice związanej z inżynierią środowiska / works as lecturer in the University of Ecology and Management in Warsaw, the Architecture Faculty; by profession is the specialist in the field of environmental engineering; kontakt/contact: Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, ul. Olszewska 12, 00-792 Warszawa, Polska e-mail: jwasilczuk@wseiz.pl

**dr inż. Marian Sobiech** – wykładowca Wydziału Architektury Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania w Warszawie; specjalizuje się w technice związanej z inżynierią środowiska / works as lecturer in the University of Ecology and Management in Warsaw, the Architecture Faculty; by profession is the specialist in the field of environmental engineering; kontakt/contact: Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, ul. Olszewska 12, 00-792 Warszawa, Polska, e-mail: msobiech@wseiz.pl