

## **OPLACALNOŚĆ EKONOMICZNA ZASTOSOWANIA POMPY CIEPŁA DO OGRZEWANIA WIEJSKIEGO BUDYNKU MIESZKALNEGO**

Jarosław Dąbrowski, Edward Hutnik

*Instytut Budownictwa, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono analizę ekonomiczną opłacalności zastosowania instalacji z pompą ciepła w typowym wiejskim domku jednorodzinnym. Na podstawie przeprowadzonych badań na stanowisku badawczym dla sezonu grzewczego 2007/2008 obliczono czas zwrotu inwestycji przy zastąpieniu różnych nośników energii konwencjonalnej. Z przeprowadzonej analizy wynika, że zastosowanie instalacji z pompą ciepła w typowym domku jednorodzinnym jest opłacalne przy zastępowaniu najdroższych nośników energii takich jak gaz płynny (propan), energia elektryczna i olej opałowy.

**Słowa kluczowe:** energia odnawialna, pompa ciepła, opłacalność ekonomiczna

### **Wstęp**

Z każdym rokiem cena energii konwencjonalnej wzrasta nieproporcjonalnie do naszych zarobków, co przekłada się bezpośrednio na obciążenie budżetu domowego wyższymi wydatkami między innymi za ogrzewanie budynków (udział 70% – struktura zużycia energii) i przygotowanie ciepłej wody użytkowej (udział 15% zużycia energii). Pozostałą część energii zużywanej przez dom stanowi prąd (15%). Perspektywa wyczerpywania się tradycyjnych źródeł energii pierwotnej, przy coraz większym zapotrzebowaniu na energię, zdecydowanie będzie wpływać na wzrost cen surowców naturalnych na światowych giełdach. Dlatego w fazie projektowania budynku powinniśmy już pomyśleć o rozwiązaniach technicznych, które pozwolą zmniejszyć ilość energii potrzebnej do jego ogrzania jak i wybrać takie rozwiązanie ogrzewania domu, które zapewni niskie koszty eksploatacyjne (duża efektywność i niska cena wytworzenia energii), bezawaryjność i bezobsługowość. Jednym z rozwiązań, które jest coraz bardziej popularne i opłacalne w ostatnich latach jest wykorzystanie do ogrzewania budynków pomp ciepła, których współczynnik efektywności może wahać się w przedziale od 3 do 6 w zależności od przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych.

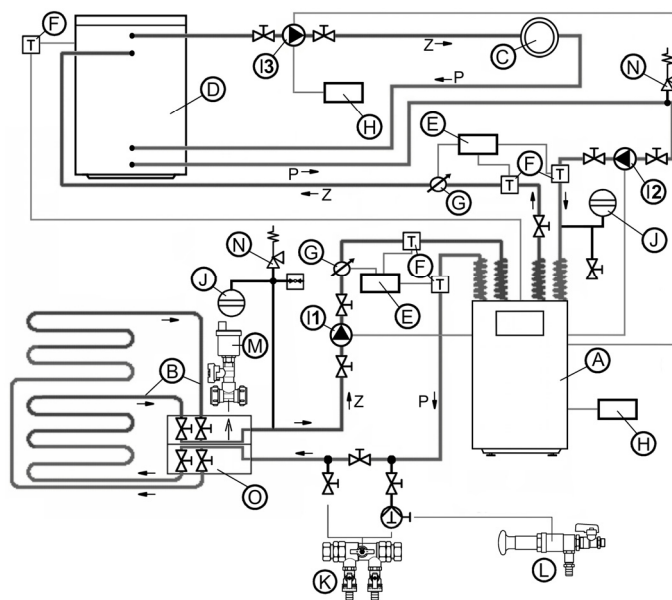
### **Stanowisko badawcze**

Stanowisko badawcze wykonane zostało w budynku jednorodzinnym o powierzchni ogrzewanej 148,25 m<sup>2</sup> (powierzchnia użytkowa 171,65 m<sup>2</sup>). Budynek znajduje się w miejscowości położonej w pobliżu Wrocławia. Do ogrzewania budynku wykorzystano pompę ciepła solanka – woda o mocy cieplnej 7,7 kW i mocy chłodniczej 5,9 kW dobranej na

podstawie przeprowadzonych obliczeń maksymalnego zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń [1], które wyniosło dla budynku  $Q = 8,11$  kW. Ciepło niskotemperaturowe pobierane było z gruntu za pomocą kolektora poziomego o powierzchni  $300$  m<sup>2</sup> (8 pętli rur PE  $\phi 20$  po  $100$  m każda) ułożonego pod powierzchnią terenu w warstwie piasków średnich na głębokości  $1,1$  m.

Zaprojektowano także zbiornik buforowy o  $V = 400$  l, którego zadaniem było wysprężanie pracującej pompy ciepła. Pompa ciepła pracując wytwarzała zawsze energię w tej samej ilości w danej jednostce czasu, natomiast odbiór energii w pomieszczeniach ulegał różnym zakłóceniom. Zadaniem bufora było przyjmowanie ewentualnych nadwyżek energii zapewniając długie przebiegi pracy pompy ciepła, co zwiększało jej żywotność eksploatacyjną. Ciepło zmagazynowane w buforze przekazywane było do pomieszczenia i za pomocą grzejników konwektorowych oddawane do pomieszczenia. Instalacja grzejnikowa zaprojektowana została na temperaturę pracy  $45^{\circ}\text{C} / 35^{\circ}\text{C}$  (im niższa temperatura, tym większa efektywność pompy ciepła).

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1.

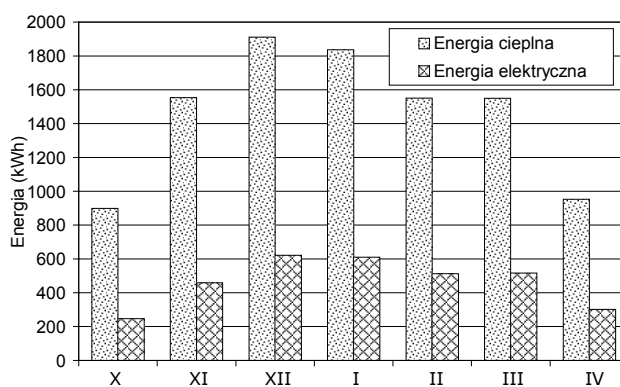


Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: A – pompa ciepła, B – dolne źródło ciepła, C – obieg grzewczy grzejników konwektorowych, D – bufor o  $V=400$  l, E – licznik ciepła, F – czujnik temperatury, G – przepływomierz, H – licznik energii elektrycznej, I – pompa obiegowa, J – naczynie wzbiorcze, K – armatura do napełniania, L – pompa ręczna do napełniania układu, M – odpowietrznik, N – zawór bezpieczeństwa, O – rozdzielacz solanki

Fig. 1. Test stand layout: A – heat pump, B – lower source of heat, C – heating cycle of unit heaters, D – buffer with  $V=400$  l, E – heat meter, F – temperature sensor, G – flowmeter, H – electric power meter, I – circulation pump, J – rising vessel, K – fittings for filling, L – hand-operated pump for filling the system, M – vent, N – safety valve, O – brine distributor

### Analiza opłacalności ekonomicznej

Podczas sezonu grzewczego 2007/2008 pompa ciepła, trzy pompy obiegowe i automatyka sterująca pobrała 3267,6 kWh energii elektrycznej. W wyniku przemian termodynamicznych zachodzących w układzie sprężarkowym otrzymano 36916 MJ (10254 kWh) ciepła. Natomiast z dolnego źródła ciepła (grunt na głębokości 110 cm) pobrano 29691 MJ (8247,5 kWh) odnawialnej energii cieplnej. Przebieg zapotrzebowania na ilość ciepła potrzebnego do ogrzania budynku i energii elektrycznej zużytej do napędu pompy ciepła, trzech pomp obiegowych i sterowania automatyką przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Wyniki badań otrzymane ze stanowiska badawczego dla poszczególnych miesięcy sezonu grzewczego 2007/2008

Fig. 2. Results obtained from the test stand for individual months in heating season 2007/2008

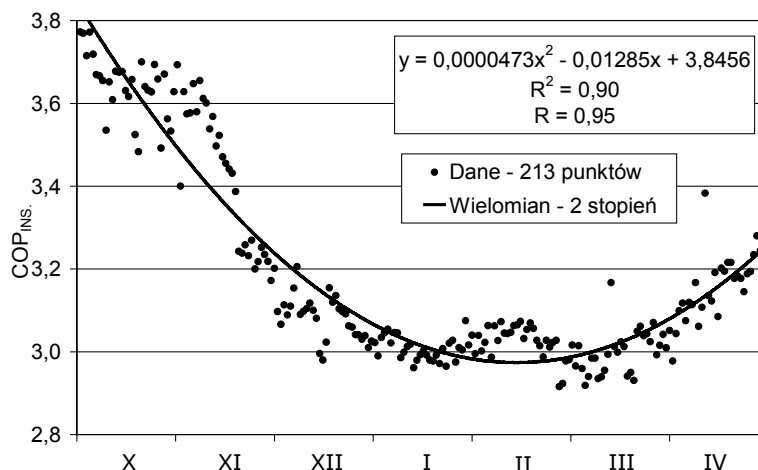
Wskaźnik efektywności  $COP_{INS}$  (Coefficient of Performance) dla całej instalacji z pompą ciepła jest ilorazem energii cieplnej wytworzonej przez sprężarkę do ilości pobranej energii elektrycznej potrzebnej do napędu sprężarki, trzech pomp obiegowych i regulatora sterującego:

$$COP_{INS} = \frac{Q_{BUF}}{E_{SPR} + E_{DOD}} \quad (1)$$

gdzie:

- $Q_{BUF}$  – ciepło wytworzone przez pompę ciepła [kWh],
- $E_{SPR}$  – energia elektryczna zużyta do napędu sprężarki [kWh],
- $E_{DOD}$  – energia elektryczna zużyta przez pompy obiegowe i regulator [kWh].

Wskaźnik efektywności ( $COP_{INS}$ ) dla sezonu grzewczego 2007/2008 wyniósł 3,14, czyli z 1 kWh otrzymaliśmy 3,14 kWh ciepła (2,14 kWh energii darmowej pozyskanej w wyniku przemian termodynamicznych). Na podstawie danych dobowych ilości wytworzonego ciepła przez sprężarkę i ilości zużytej energii elektrycznej przez sprężarkę, pompy obiegowe i automatykę sterującą sporządzono wykres przebiegu wskaźnika efektywności  $COP_{INS}$  w okresie siedmiu miesięcy (rys. 3).



Rys. 3. Przebieg efektywności dla całej instalacji z pompą ciepła podczas sezonu grzewczego 2007/2008

Fig. 3. Efficiency progress for the whole installation with the heat pump during heating season 2007/2008

Istnieje wiele czynników, które mają wpływ na opłacalność ekonomiczną zastosowania instalacji z pompą ciepła do ogrzewania budynków.

Pierwszym z nich jest właściwy wybór obiektu budowlanego. Dokładnie chodzi o to, jaki nośnik energii konwencjonalnej jest dostępny na danym terenie. Nośniki energii konwencjonalnej, wykorzystywane do ogrzewania budynków, różnią się m. in.: ceną, dostępnością, wartością opałową, obciążeniem dla środowiska naturalnego oraz różną technologią ich spalania. Najlepsze efekty, jeżeli chodzi o opłacalność inwestycji, osiąga się w obiektach, gdzie zastępujemy najdroższe nośniki energii konwencjonalnej energią wytworzoną przez pompę ciepła. W tabeli 1 porównano różne nośniki energii konwencjonalnej pod względem ich wartości opałowej, sprawności wykorzystania, ceny i faktycznych kosztów jej wytworzenia.

Jak widać z tabeli 1, do najdroższych nośników energii można zaliczyć gaz płynny (propan) oraz energię elektryczną (bezpośrednie wykorzystanie), gdzie koszt wykorzystania 1 GJ energii wynosi odpowiednio 113,41 zł i 132,29 zł. Średnie koszty 1 GJ energii wyniosą odpowiednio, przy użyciu gazu ziemnego (54,07 zł) i oleju opałowego (72,98 zł). Natomiast do tanich nośników energii można zaliczyć węgiel kamienny (35,38 zł·GJ<sup>-1</sup>). Dzięki wykorzystaniu pompy ciepła, która pobiera energię elektryczną w taryfie nocnej G-12 za 1 GJ energii cieplnej zapłacimy zaledwie 21,17 zł. Natomiast pompa ciepła, która wykorzystuje energię elektryczną w taryfie stałej G-11 wytworzy 1 GJ ciepła w cenie 41,30 zł.

Oplacalność ekonomiczna...

Tabela 1. Koszt wytworzenia 1 GJ energii cieplnej dla odbiorcy indywidualnego na dzień 1 grudnia 2009 r.

Table 1. Production cost for 1 GJ of thermal energy for individual consumer on December 1, 2009

Nośnik energii – urządzenie	Jednostka obliczeniowa	Cena jednostki energii	Wartość opałowa	Sprawność, efektywność urządzenia	K <sub>N</sub> – koszt 1 GJ energii cieplnej
		zł	MJ / jednostkę	%	Zł·GJ <sup>-1</sup>
Energia elektryczna <u>pompa ciepła</u> (nocna taryfa G-12)	1000 kWh	239,36 <sup>(1)</sup>	3600	COP <sub>INS</sub> = 3,14	<u>21,17</u>
Węgiel kamienny kocioł na węgiel	1000 kg	725,00 <sup>(2)</sup>	25000	78	35,38
Energia elektryczna <u>pompa ciepła</u> (stała taryfa G-11)	1000 kWh	466,89 <sup>(1)</sup>	3600	COP <sub>INS</sub> = 3,14	<u>41,30</u>
Gaz ziemny wysokometanowy kocioł gazowy	1000 m <sup>3</sup>	2014,71 <sup>(3)</sup>	39500	94	54,07
Olej opałowy kocioł olejowy	1000 kg	2940,00 <sup>(4)</sup>	42700	94	72,98
Gaz płynny (propan) kocioł gazowy	1000 kg	4959,00 <sup>(5)</sup>	46350	94	113,41
Energia elektryczna (stała taryfa G-11) grzejniki elektryczne	1000 kWh	466,89 <sup>(1)</sup>	3600	98	132,29

<sup>1</sup> Cena według taryfy Energiapro Gigawat Wrocław S.A.

<sup>2</sup> Cena według składu opału we Wrocławiu. W cenę wliczony jest transport 15 zł/T.

<sup>3</sup> Cena według taryfy W – 2 zakładu gazowniczego.

<sup>4</sup> Cena według firmy sprzedającej olej opałowy. 2,45 zł/l 1 kg=1,2 l.

<sup>5</sup> Cena według firmy sprzedającej gaz płynny do celów grzewczych. 2,61 zł/l 1 kg=1,9l.

*Źródło: obliczenia własne autora*

W tabeli 2 przedstawiono koszty poniesione podczas sezonu grzewczego 2007/2008 związane z ogrzaniem budynku jednorodzinne (stanowisko badawcze) przy użyciu różnych nośników energii.

Najmniejsze koszty związane z ogrzewaniem budynku poniesiemy przy zastosowaniu pompy ciepła (taryfa zmienna) i są one ponad sześciokrotnie mniejsze niż w przypadku wykorzystania tego samego nośnika energii zużytego przez grzejniki elektryczne. Ogrzanie budynku przez pompę ciepła w taryfie stałej wyniesie także niewiele, bo zaledwie średnio 217,80 zł/miesiąc dla siedmiu miesięcy sezonu grzewczego 2007/2008.

Tabela 2. Koszty poniesione na ogrzewanie budynku dla różnych nośników energii w sezonie grzewczym 2007/2008.

Table 2. Heating of the building costs for different energy carriers in heating season 2007/2008

Nośnik energii – urządzenie	Zużyta ilość energii	$K_N$ – koszt 1 GJ ciepła	$K_S$ – koszty ogrzedania domu dla sezonu 2007/2008
		Zł·GJ <sup>-1</sup>	zł na sezon
Energia elektryczna pompa ciepła (nocna taryfa G-12)	3267,6 kWh	21,17	<u>781,51</u>
Węgiel kamienny kocioł na węgiel	1801,5 kg	35,38	1306,09
Energia elektryczna pompa ciepła (stała taryfa G-11)	3267,6 kWh	41,30	<u>1524,63</u>
Gaz ziemny wysokometanowy kocioł gazowy	990,7 m <sup>3</sup>	54,07	1996,05
Olej opałowy kocioł olejowy	1099,7 l	72,98	2694,13
Gaz płynny (propan) kocioł gazowy	1604,0 l	113,41	4186,64
Energia elektryczna (stała taryfa G-11) grzejniki elektryczne	10459,5 kWh	132,29	4883,62

Źródło: obliczenia własne autora

Kolejnym czynnikiem, który wpływa na opłacalność inwestycji jest koszt związany z zakupem urządzeń wytwarzających ciepło dla budynku i ewentualnego wykonania przyłącza nośnika energii. Jeżeli chodzi o pompę ciepła nie ma potrzeby wykonywania dodatkowego przyłącza do budynku, gdyż zostaje tu wykorzystane istniejące trójfazowe przyłącze energetyczne doprowadzane do budynku w celu zapewnienia energii elektrycznej. Nie musimy także wykonywać przewodów wentylacyjnych, spalinowych czy dymowych (komina) w pomieszczeniu, gdzie będzie zainstalowana pompa ciepła. Jeżeli chodzi o kocioł gazowy (gaz ziemny i płynny), oprócz wykonania komina z przewodem spalinowym i wentylacyjnym, musimy zaprojektować także przyłącze gazowe, które doprowadza gaz z sieci miejskiej (gaz ziemny) bądź ze zbiornika (propan). W przypadku wykorzystania kotła węglowego oprócz komina musimy także przewidzieć pomieszczenie w budynku na składowanie opału.

Zestawienie kosztów inwestycji ( $K_I$ ) związanych z zaprojektowaniem kotłowni dla różnych rozwiązań technicznych obecnie stosowanych przedstawiono poniżej:

1. Kotłownia z pompą ciepła: pompa ciepła o mocy 7,7 kW (27.000 zł), bufor 400 l (4.000 zł), kolektor poziomy + przyłącze + solanka (13.000 zł). Razem koszty = 44.000 zł.
2. Kotłownia z kotłem olejowym: kocioł olejowy wiszący o mocy 12 – 20 kW (15.000 zł), zbiornik 1500 l na olej opałowy (2.500 zł), komin (5.000 zł). Razem koszty = 22.500 zł.

Oplacalność ekonomiczna...

3. Kotłownia z kotłem na gaz ciekły (propan): kocioł gazowy wiszący o mocy 10,7 – 24,8 kW (5.000 zł), komin (5.000 zł), przyłącze gazowe (1.500 zł), dzierżawa butli V=2700 l (750 zł·rok<sup>-1</sup>). Razem koszty 11.500 zł + 750 zł/rok.
4. Kotłownia z kotłem na gaz ziemny: kocioł gazowy wiszący 10,7 – 24,8 kW (5.000 zł), komin (5.000 zł), przyłącze gazowe (1.500 zł). Razem koszty 11.500 zł.
5. Ogrzewanie grzejnikami elektrycznymi: brak dodatkowych kosztów.

W kalkulacji nie wzięto pod uwagę kosztów związanych z wykonaniem instalacji grzejnikowej ponieważ można założyć, że jej koszt będzie porównywalny dla różnych rozwiązań ogrzewania budynku.

Otrzymany zysk (Z) będzie zaoszczędzeniem określonej kwoty pieniędzy, którą w przypadku braku instalacji z pompą ciepła musielibyśmy ponieść na ogrzanie domu. Zysk (Z) otrzymamy po odjęciu kosztów związanych z ogrzewaniem budynku przez pompę ciepła w taryfie stałej (KPs) i zmiennej (KPz) od kosztów poniesionych dla innych nośników energii (KS).

$$Z = K_S - K_{Ps/z} \quad (2)$$

Końcowym wynikiem obliczenia czasu zwrotu (TZ) poniesionych nakładów na inwestycję (tab. 3) jest podstawienie otrzymanych wcześniej kosztów inwestycji.

Tabela 3. Zysk (Z) i czas zwrotu inwestycji (TZ) dla pompy ciepła w taryfie stałej i zmiennej  
Table 3. Profit (Z) and investment payout time (TZ) for heat pump for fixed and changing tariff

Urządzenie	Nośnik energii - urządzenie			
	Gaz ziemny wysokometanowy kocioł gazowy	Olej opałowy kocioł olejowy	Energia elektryczna (stała taryfa G-11) grzejniki elektryczne	Gaz płynny (propan) kocioł gazowy
	<b>Zysk (Z) w zł</b>			
Dla instalacji z pompą ciepła w taryfie zmiennej (nocna G-12)	1.214,54	1.912,62	4.102,11	4.155,13
Dla instalacji z pompą ciepła w taryfie stałej G-11	471,42	1.169,50	3.358,99	3.412,01
	<b>Czas zwrotu inwestycji (TZ) w latach</b>			
Dla instalacji z pompą ciepła w taryfie zmiennej (nocna G-12)	26,8	11,2	10,7	7,8
Dla instalacji z pompą ciepła w taryfie stałej G-11	68,9	18,4	13,1	9,5

Źródło: obliczenia własne autora

Dla pompy ciepła (KIPs/z), kosztów inwestycji dla pozostałych nośników energii (KI) i zysku (Z) związanego zaoszczędzeniem określonej kwoty pieniędzy, którą w przypadku braku instalacji z pompą ciepła musielibyśmy ponieść na ogrzanie domu do następującego wzoru:

$$T_z = \frac{K_{IPs/z} - K_I}{Z} \quad (3)$$

Żywotność pracującej sprężarki pompy ciepła zakłada się na 90.000 godzin pracy. Pompa ciepła na stanowisku badawczym podczas sezonu grzewczego 2007/2008 przepracowała 1.388 godzin. Teoretycznie powinna bezawaryjnie przepracować, przy średniej pracy rocznej 1.400 godzin prawie 65 lat. Jak wynika z tabeli 3 opłacalne jest montowanie pompy ciepła, która pracuje w taryfie nocnej dla wszystkich rozwiązań technicznych. Pompę ciepła pracującą w taryfie stałej nie opłaca się zastępować kotłownią wyposażoną w kocioł gazowy na gaz miejski (sieciowy).

## Podsumowanie

Wykorzystując instalację z pompą ciepła w typowym budynku mieszkalnym (jednorodzinny), inwestycja jest opłacalna, gdy w budynku zastępujemy nośniki energii konwencjonalnej takie, jak: gaz płynny (propan), energia elektryczna i olej opałowy. Oprócz opłacalności ekonomicznej kotłownia wyposażona w pompę ciepła jest bezpieczniejsza od kotłowni z kotłem gazowym czy olejowym (ryzyko nieszczelności instalacji, co w konsekwencji może prowadzić do wybuchu gazu czy pożaru). Koszt wytworzenia 1 kWh ciepła przez całą instalację pompy ciepła (sprężarka, regulator i trzy pompy obiegowe) wynosi zaledwie 0,08 zł/kWh w taryfie nocnej G-12 i 0,15 zł·kWh<sup>-1</sup> w taryfie stałej G-11 przy cenie 1 kWh energii elektrycznej wynoszącej odpowiednio 0,24 i 0,47 zł·kWh<sup>-1</sup> (cena na dzień 1 grudnia 2009 r.).

## Bibliografia

- Ciechanowicz W.** 1997. Energia, środowisko i ekonomia. Instytut Badań Systemowych PAN. Warszawa. ISBN 83-85847-91-X.
- Kucowski J., Laudyn D., Przekwas M.** 1997. Energetyka a ochrona Środowiska. Wyd. 4. WNT. Warszawa. ISBN 83-204-2027-X.
- Rubik M.** 2000. Trujące spaliny. Magazyn instalatora. Nr 1(17). Warszawa. s. 42-43.
- PN-B-03406. 1994. Ogrzewnictwo – Obliczanie zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń o kubaturze do 600 m<sup>3</sup>, PKN, Warszawa.



## **ECONOMIC PROFITABILITY OF USING HEAT PUMP AS THE HEAT SOURCE FOR RESIDENTIAL BUILDING IN THE COUNTRY**

**Abstract.** The article presents economic profitability analysis regarding the use of a system equipped with a heat pump in a typical country single-family house. On the basis of tests completed at the test stand for heating season 2007/2008, the researchers calculated payout time for the investment project when replacing different conventional energy carriers. Completed analysis shows that employing a system possessing heat pump in a typical single-family house is cost-effective when replacing most expensive energy carriers, including liquefied petroleum gas (propane), electric energy, and fuel oil.

**Key words:** renewable energy, heat pump, economic profitability

**Adres do korespondencji:**

Jarosław Dąbrowski; e-mail: jaroslaw.dabrowski@up.wroc.pl  
Instytut Budownictwa  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Pl. Grunwaldzki 24  
50-363 Wrocław