

## Analiza możliwości współpracy instalacji PV z pompą ciepła

**Streszczenie:** Ogrzewanie domów mieszkalnych z wykorzystaniem pompy ciepła jest rozwiązaniem ekologicznym. Jego zaletą jest też minimalizacja wpływu cen ciepła i paliw kopalnych na koszty ogrzewania. W omawianym rozwiązaniu jedynym kosztem zewnętrznym dla źródła ciepła jest energia elektryczna, której cena może być często nieprzewidywalna. Zużywanie lokalnie wyprodukowanej energii elektrycznej (np. w instalacji PV) na cele zasilania pompy ciepła może być sposobem na doprowadzenie do pełnej niezależności energetycznej domu mieszkalnego. Na podstawie dokonanych pomiarów istniejących instalacji przeprowadzono analizę współdziałania instalacji PV i pompy ciepła. Jej wyniki przedstawiono w niniejszym artykule.

**Abstract.** Heating residential houses with a heat pump is an ecological solution. The advantage of this solution is that the impact of heat and fossil fuel prices on heating costs is minimized. In the presented solution, the only external cost to the heat source is the cost of electricity, which can often be unpredictable. Using locally produced electricity (e.g. in a PV system) to supply a heat pump can be a way to make a residential house fully energy independent. Based on the measurements of existing installations, an analysis of the interaction between the PV installation and the heat pump was carried out. Its results are presented in this paper. **Analysis of the possibility of cooperation between a PV installation and a heat pump.**

**Słowa kluczowe:** pompa ciepła, instalacja PV, rozliczenie energii

**Keywords:** heat pump, PV installation, energy billing.

### Wprowadzenie

Czy warto łączyć dwa odnawialne źródła w jeden system? Czy współpraca pompy ciepła i paneli fotowoltaicznych może być opłacalna nie tylko ze względów ekologicznych, lecz również finansowych? Na te pytania daje odpowiedź poniższa analiza, która opiera się na doświadczeniach oraz pomiarach wykonanych w instalacjach hybrydowych złożonych z pompy ciepła i paneli PV.

Pompa ciepła jest urządzeniem, które czerpie swoją energię z odnawialnych źródeł energii. Jednakże jeden jej istotny komponent, a mianowicie sprężarka, wymaga do prawidłowego funkcjonowania energii elektrycznej. Jest to w przybliżeniu 20% energii przetwarzanej przez pompę. Ta niezbędna do działania część energii może być dostarczona z paneli fotowoltaicznych. Dzięki temu uzyskana wprost z promieni słonecznych energia odnawialna pozwala na określenie tego rodzaju ogrzewania jako w pełni ekologicznej instalacji.

Wątpliwość, która w niniejszym artykule jest rozważana, dotyczy opłacalności połączenia ze sobą tych dwóch układów. Działanie źródła PV jest najbardziej wydajne w okresie letnim, z kolei maksymalne zapotrzebowanie energii na cele ogrzewania domu, przypada na okres zimowy. Współdziałanie obu instalacji jest praktycznie niemożliwe w tym samym czasie, dlatego kluczowym elementem realizacji układu centralnego ogrzewania oraz ciepłej wody użytkowej w oparciu o produkcję energii z OZE wymaga odpowiedniego systemu rozliczeń. [1,2,3,4,6,11,12,13]

Znowelizowana ustawa o OZE z dnia 22 czerwca 2016 roku [7] wprowadziła rozwiązanie umożliwiające bilansowanie energii wyprodukowanej w instalacjach prosumenckich z energią zużywaną na potrzeby własne. W artykule 4 Ustawy określono, że nadmiarową energię wyprodukowaną przez układ fotowoltaiczny użytkownik może „zwrócić” do sieci energetycznej. W okresie niedoboru energii produkowanej we własnym źródle przepisy pozwalają temu samemu użytkownikowi „odebrać” z sieci energię wyprodukowaną pomniejszoną o ustawowy współczynnik wymiany. Wyprodukowany nadmiar energii, który został oddany do systemu energetycznego, użytkownik instalacji musi odebrać z sieci w ciągu jednego roku. Wykorzystując tę możliwość współpraca pompy ciepła z panelami fotowoltaicznymi przy ogrzewaniu domu i wody użytkowej może być uzasadniona ekonomicznie. Niniejszy artykuł stanowi rozważanie technicznych oraz regulacyjnych aspektów współdziałania pompy ciepła i źródeł fotowoltaicznych [6,8].

### Model rozliczeń prosumenckich

Działanie pompy ciepła polega na pozyskiwaniu energii cieplnej występującej w środowisku – przykładowo w powietrzu albo wodzie – którą można przeznaczyć na ogrzewanie lub ochładzanie budynku/pomieszczenia. Zasada w obu przypadkach polega na pozyskaniu energii cieplnej z jednej przestrzeni i podgrzaniu powietrza w drugiej. Niezbędne do tego jest wymuszenie przepływu energii, do czego wykorzystywana jest sprężarka - kluczowy element większości obecnych na rynku pomp.

Do zasilania sprężarki, a w konsekwencji pompy ciepła wykorzystuje się przeważnie silnik spalinowy lub silnik elektryczny. W opisywanym przypadku zakłada się wykorzystanie do napędu energii elektrycznej, która pochodzi ze źródła najkorzystniejszego z punktu widzenia ochrony środowiska. Kluczowym do rozstrzygnięcia jest opłacalność ekonomiczna takiego rozwiązania, ponieważ stanowi ona o sukcesie rynkowym przedsięwzięcia. [1,3,11,12,13].

Zastosowanie modelu rozliczeń prosumenckich umożliwia wykorzystanie instalacji PV do zasilania pompy ciepła. Autoprodukcja energii elektrycznej z przeznaczeniem na potrzeby ogrzewania budynku pozwala na niezależenie ceny ciepła od cen rynkowych. Prawidłowo wymiarowana instalacja może sprowadzić cenę ciepła do ceny wynikającej z kosztów inwestycyjnych fotowoltaiki i pompy ciepła. Uniezależnienie od ceny rynkowej energii elektrycznej przy prognozach rosnących cen stanowi istotny walor takiego przedsięwzięcia. Należy przy tym pamiętać, że inwestycja w OZE wiąże się z ryzykiem i jeśli prognoza cen energii okaże się błędna, to koszt ogrzewania może być wyższy niż cena rynkowa.

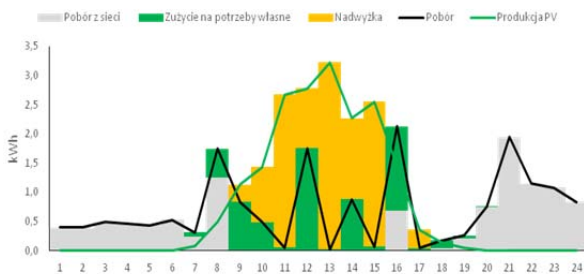
Podstawowe założenie instalacji prosumenckiej stanowi o zużyciu energii elektrycznej wyprodukowanej na potrzeby własne. W idealnym przykładzie zużycie energii powinno następować w tym samym czasie co jej wyprodukowanie. W artykule zaprezentowany został przykład zużycia i produkcji energii elektrycznej w ciągu jednej doby w instalacji prosumenckiej współpracującej z pompą ciepła. Rzeczywiste dane potwierdzają, że zbilansowanie energii elektrycznej na cele ogrzewania w okresie jednej doby nie jest możliwe. Rozwiązaniem tej sytuacji jest skorzystanie przez prosumenta z prawa do rozliczenia nadwyżki energii wprowadzonej do sieci w okresie rozliczeniowym (który wynosi zazwyczaj rok, ale jest określany przez lokalnego OSD w zależności od wielkości zainstalowanej instalacji wytwórczej) w następującym przeliczeniu [7]:

a) w przypadku instalacji do 10 kW mocy elektrycznej wyprodukowana jedna kilowatogodzina [kWh] wprowadzona do sieci upoważnia odbiorcę do pobrania z sieci elektroenergetycznej 0,8 kilowatogodziny,

b) dla instalacji do 50 kW mocy elektrycznej wyprodukowana jedna kilowatogodzina [kWh] wprowadzona do sieci upoważnia odbiorcę do pobrania z sieci elektroenergetycznej 0,7 kilowatogodziny.

Przyłączenie prosumenckiego źródła energii następuje na poziomie sieci wewnętrznej budynku, dlatego jest możliwe zużycie energii produkowanej w danej chwili. Unika się wtedy poboru energii elektrycznej z sieci.

Na rysunku 1 kolorem zielonym oznaczono energię elektryczną zużywaną bezpośrednio z produkcji, która nie jest wprowadzana do sieci. Kolorem żółtym oznaczono nadwyżkę produkcji ponad potrzeby własne prosumenta, a na szaro pobór energii z sieci przez prosumenta. W definicji ustawy to właśnie energia „żółta” wymieniana jest z energią „szarą” w stosunku 1:0,7 lub 1:0,8. Linia czarna pokazuje profil zapotrzebowania na energię elektryczną przez prosumenta.



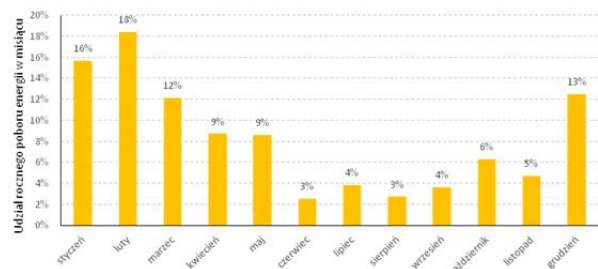
Rys. 1 Charakterystyki generacji i poboru mocy elektrycznej (PV) w przykładowym budynku mieszkalnym, opracowanie własne

Założeniem modelu rozliczeń jest kompensata poboru energii elektrycznej nadwyżką energii pochodzącą z produkcji. Dzięki ustawie o OZE kompensata możliwa jest nie tylko w okresie doby, ale w okresie rozliczeniowym (czyli np. w ciągu roku). Dzięki temu, panele fotowoltaiczne pracując w okresie letnim, zapewniają energię niezbędną do działania systemu ogrzewania zimą.

Przyłączenie do sieci elektroenergetycznej gwarantuje niezakłóconą pracę pompy ciepła, której funkcjonowanie nie zostanie przerwane przez chwilowy brak energii, jaki może wywołać zachmurzenie czy krótki dzień zimowy.

Energia ze źródła fotowoltaicznego wytwarzana jest w godzinach o wysokim nasłonecznieniu. Co za tym idzie, większość produkcji realizowana jest w ciepłych porach roku (lato, część jesieni), a profil produkcji instalacji fotowoltaicznej charakteryzuje się wytwarzaniem energii w ciągu dnia. Zdecydowanie inny jest profil poboru energii elektrycznej na potrzeby zasilania pompy ciepła. Źródło ogrzewania pracuje najczęściej zimą, gdy temperatura jest niska a słońce nie ogrzewa budynku. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy profil poboru energii elektrycznej przez pompę ciepła o mocy 25kW służącą do ogrzewania domu o powierzchni 400 m<sup>2</sup>.

Z przykładowych danych pomiarowych wynika, że około 70% zapotrzebowania rocznego przypada na 6 najzimniejszych miesięcy roku (październik – marzec). Zużycie energii w okresie letnim wynika wyłącznie z wykorzystania pompy ciepła na cele ogrzewania wody (instalacja nie produkuje ciepła). Kluczowym zatem dla racjonalności wykorzystania paneli PV do zasilania pompy ciepła jest okres rozliczeniowy instalacji prosumenckiej. Jego skrócenie do np. 3 miesięcy skutkowało by „utrata” wyprodukowanej latem energii i brakiem możliwości jej wykorzystania zimą.



Rys. 2 Profil poboru energii elektrycznej instalacji pompy ciepła 25 kW mocy grzewczej (dane w procentach poboru energii przez pompę), źródło: pomiary własne.

### Kryteria doboru pompy ciepła i instalacji PV

Przy doborze pompy ciepła bardzo ważny jest współczynnik efektywności – w skrócie **COP** (ang. *Coefficient of Performance*). Współczynnik ten określa stosunek między mocą grzewczą pompy ciepła i wymaganą do jej pracy mocą elektryczną sprężarki. W specyfikacji technicznej uwzględnia się współczynnik według normy EN 255 dla temperatury 0°C na wejściu do urządzenia z dolnego źródła oraz 35°C na zasilaniu układu grzewczego.

Przykładowo pompa ciepła o mocy cieplnej 25 kW i mocy elektrycznej niezbędnej do zasilania pompy 5 kW mocy elektrycznej będzie opisana współczynnikiem COP=5 (25/5).

Interpretacja współczynnika COP danego urządzenia oznacza, że im wyższy współczynnik tym więcej ciepła można wytworzyć przy zużyciu tej samej ilości energii elektrycznej

Do oceny efektywności energetycznej pompy ciepła dodatkowo stosowane są współczynniki sezonowe, które oznaczają się akronimem **SCOP** (ang. *Seasonal Coefficient of Performance*) lub **SPF** (ang. *Seasonal Performance Factor*). Oba współczynniki określają efektywność wykorzystania w okresie roku, przy czym SCOP jest współczynnikiem teoretycznym a SPF oblicza się na podstawie danych rzeczywistych.

Współczynnik SCOP uwzględnia zmienne warunki pracy pompy ciepła, co jest pomijane przy obliczeniu współczynnika COP.

Obliczenie współczynnika SCOP wymaga określenia dwóch źródeł energii [4,5,9]:

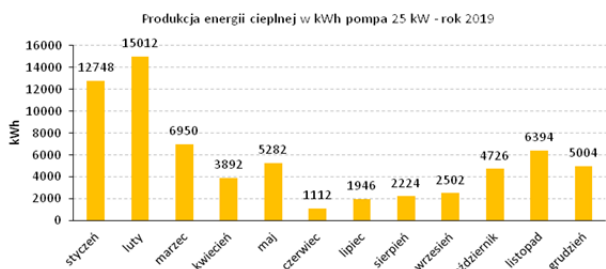
- źródło dolne: powietrze, grunt albo woda, które czynią możliwym ogrzanie czynnika chłodniczego w pompie ciepła w sposób ekologiczny,
- źródło górne: układ grzewczy, do którego ciepło jest transportowane przez czynnik chłodniczy i który oddaje ciepło w budynku poprzez np. ogrzewanie podłogowe. Wzór na obliczenie SCOP jest następujący:

$$SCOP = \frac{QHP}{EEL}$$

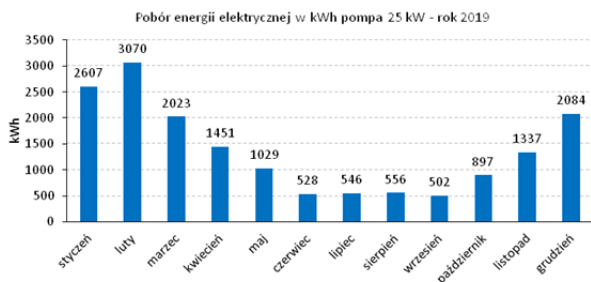
gdzie: **QHP** - ciepło oddawane przez pompę; **EEL** - energia elektryczna pobierana przez pompę.

O ile obliczenie współczynnika SCOP jest zawsze możliwe (bazuje na wartościach teoretycznych), o tyle wyliczenie powykonawcze wymaga dostępu do precyzyjnych danych pomiarowych. Pomiar ciepła oraz zużycia energii elektrycznej przez pompę ciepła nie jest standardem instalacji.

W opisywanym przypadku dzięki wykonanym pomiarom możliwe jest obliczenie współczynnika SPF. Stosunek wyprodukowanej energii cieplnej do pobranej energii elektrycznej wynosi w opisywanym przypadku 3,94.



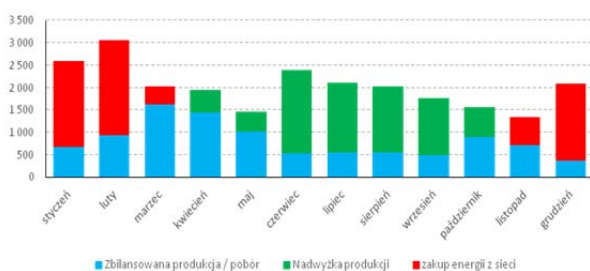
Rys. 3 Profil produkcji energii cieplnej pompy ciepła o mocy 25 kW mocy cieplnej, źródło: pomiary własne.



Rys. 4 Profil poboru energii elektrycznej do celu zasilania pompy ciepła o mocy 25 kW mocy cieplnej (dane w kWh), źródło: pomiary własne

Drugim komponentem opisywanego układu ogrzewania są panele fotowoltaiczne. Dobór mocy paneli w docelowej instalacji powinien obejmować całość zużycia energii elektrycznej, także na cele zasilania urządzeń codziennego użytku (oświetlenia budynku, urządzenia AGD, RTV itp.). To zużycie ma jednak charakter indywidualny, dlatego na potrzeby niniejszej pracy przyjęto, że dobór mocy determinuje wyłącznie instalacja pompy ciepła.

Na podstawie współczynników ustawowych rozliczenia energii prosumenta dokonano oszacowania potencjalnego wykorzystania produkcji energii z paneli fotowoltaicznych dla celów zasilania pompy ciepła. Oszacowanie dotyczy układu pompy ciepła 25 kW (profil produkcji energii cieplnej przedstawiony na rysunku 3, profil poboru energii elektrycznej na rysunku 4). Określono, że optymalna pod względem kompensaty produkcji i zużycia energii będzie instalacja PV o mocy 18 kW.



Rys. 5 Zestawienie miesięcznej produkcji energii elektrycznej w instalacji PV o mocy elektrycznej 18 kW z poborem energii pompy ciepła o mocy 25 kW mocy cieplnej, źródło: pomiary własne.

Zestawienie poziomu produkcji energii przez instalację fotowoltaiczną o wskazanej mocy i poboru przez pompę ciepła zaprezentowano na rysunku nr 5. Kolorem niebieskim określono poziom energii zbilansowanej w miesiącu (zużytej bezpośrednio), z kolei czerwonym kolorem niedobór produkcji miesięcznej, a zielonym nadwyżkę czyli nadprodukcję.

Istotny z punktu widzenia zużycia własnego jest dobowy profil produkcji, który ma znaczenie dla rozliczenia się ze zmagazynowanej w formule prosumenta energii. Oszacowano, że w zależności od poziomu konsumpcji

bezpośredniej niezbędny jest zakup energii elektrycznej z sieci w ilości od 1,3 do 4,3 MWh rocznie, co stanowi odpowiednio 8-25% poboru energii elektrycznej przez pompę ciepła. Innymi słowami, maksymalnie 25% energii wymaga zakupu z sieci, a 75% zapewnione jest przez instalację własną. Tym samym zależność kosztu ogrzewania domu od cen energii elektrycznej dostarczanej przez sprzedawcę została ograniczona.

Ważnym czynnikiem we współpracy pompy ciepła z systemem fotowoltaiki jest zmaksymalizowanie chwilowego wykorzystania przez pompę bieżącej produkcji energii elektrycznej. Oddanie bowiem energii do sieci energetycznej zawsze wiąże się ze stratami wynikającymi z formuły rozliczeń prosumenckich.

Zakres sterowania fotowoltaiki jest zerowy, natomiast pompa ciepła może dopasować swoje potrzeby do godzin produkcji energii. Możliwe jest wykorzystanie jej układów automatyki zwiększających produkcję ciepła w godzinach pracy instalacji PV. Z pewnością zwiększy to efektywność zainstalowanego układu. Kluczowym jest przy tym komfort użytkownika. Użytkownik musi zdefiniować parametry graniczne np. zakres temperatury, który jest w jego odczuciu akceptowalny. Ogrzewanie domu do zbyt wysokich temperatur wynikające jedynie z poziomu produkcji energii z PV jest nieracjonalne. W układzie współpracującej pompy ciepła z panelami PV należy rozważyć możliwość magazynowania nadprodukowanego wcześniej ciepła. Jest to możliwe w ogrzewaniu podłogowym lub zbiornikach wody. Magazynowanie energii elektrycznej może również być rozwiązaniem, które uniezależni prosumenta od poboru energii z sieci. Jest to jednak pewien zamysł niepotwierdzony rachunkiem ekonomicznym.

Zakup i montaż pompy ciepła oraz instalacji fotowoltaicznej – o mocach jak w rozważanym przykładzie – wymaga nakładów inwestycyjnych rzędu ponad 100 tysięcy złotych. Dlatego kluczowym jest efektywność ekonomiczna przedsięwzięcia.

### Analiza kosztów ogrzewania

Układ fotowoltaiki i pompy ciepła należy rozpatrywać w oparciu o warianty alternatywne ogrzewania domu. Bazując na wartościach empirycznych zapotrzebowania na ciepło, opracowano trzy warianty ogrzewania domu jednorodzinnego:

- ogrzewanie węglowe (W1), z niewielkim kosztem inwestycyjnym (10 tysięcy złotych piec na ekogroszek),
- ogrzewanie z wykorzystaniem pompy ciepła zasilanej energią elektryczną z sieci (W2), (koszt inwestycyjny 64 tysiące złotych),
- ogrzewanie z wykorzystaniem pompy ciepła zasilanej energią elektryczną z PV (W3), gdzie koszt inwestycyjny wynosi łącznie 118 tysięcy złotych.

Podstawowe założenia rynkowe i finansowe stosowane do analizy przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Założenia rynkowe do analizy opłacalności wariantów

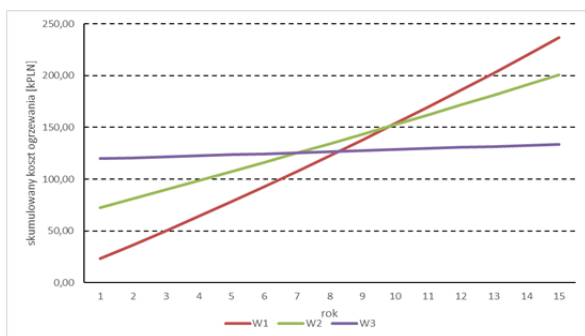
Energia elektryczna z sieci	Łączny koszt zakupu (obrot + dystrybucja)	<b>0,60</b>	zł/kWh
	Indeks wzrostu cen	<b>1%</b>	rocznie
Koszt produkcji energii z węgla (piec na ekogroszek)	Koszt zakupu węgla	<b>1,15</b>	kPLN/ t
	Sprawność pieca	<b>0,81</b>	
	Wartość opałowa węgla	<b>21,77</b>	MJ/ kg
	Indeks wzrostu cen	<b>2%</b>	rocznie
Produkcja energii przez instalację PV	Moc instalacji	<b>18,0</b>	kW
	Produkcja roczna	<b>1 000</b>	kWh/ kW
	Współczynnik rozliczenia prosumenckiego	<b>0,7</b>	
Produkcja ciepła przez pompę ciepła	Moc instalacji	<b>25,0</b>	KW
	Pobór energii elektrycznej	<b>14,1</b>	MWh /rok
	Produkcja energii cieplnej	<b>55,9</b>	MWh /rok



Analiza zakłada koszt inwestycyjny na poziomie 64 tysięcy złotych dla pompy ciepła o mocy 25 kW i 54,76 tysięcy złotych dla instalacji PV o mocy 18 kW. Dane zostały potwierdzone rynkowo poprzez analizę dostępnych ofert.

Na rysunku 6 zaprezentowano wyniki przeprowadzonej analizy opracowanych wariantów. Została ona wykonana z perspektywy kosztów gospodarstwa domowego, dlatego nie bierze pod uwagę kosztów amortyzacji. Indeksacja cen energii z sieci i węgla pokrywa założenia inflacyjne.

Zbadano w okresie 15 lat koszt całkowity ogrzewania domu. Z analizy wynika, że wariant trzeci (czyli instalacja PV + pompa ciepła) stanowi wariant niezależniący koszt ogrzewania od cen energii elektrycznej i węgla. Innymi słowy, jest to jedyny wariant dla którego koszt ogrzewania można oszacować w długiej perspektywie. W pozostałych dwóch przypadkach koszt całkowity zależy od cen rynkowych energii i paliwa.



Rys. 6 Wyniki analizy wariantów kosztu ogrzewania domu jednorodzinnego, obliczenia własne

Tabela 2. Uniknięta emisja gazów cieplarnianych dla instalacji pompy ciepła 25 kW [10]

Związek chemiczny	Emisja przy spalaniu 1 tony węgla [kg]	Uniknięta emisja przy układzie (25 kW = 10,7 t węgla) [kg]
Tlenki azotu	2,1	22,5
Tlenki siarki	14,0	149,8
Tlenek węgla	50,0	536,0
Dwutlenek węgla	2 000,0	21 440,0
Pył zawieszony	10,0	107,2

Tabela 3. Analiza za i przeciw współpracy instalacji PV i pompy ciepła.

Mocne Strony	Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> <li>Profil dopasowany do potrzeb KSE (produkcja latem);</li> <li>Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych tlenki siarki, azotu, węgla oraz popioły;</li> <li>Uniezależnienie kosztów od cen energii i paliwa (węgiel lub gaz);</li> <li>Uproszczenie organizacyjne – brak potrzeby przechowywania paliwa;</li> <li>Komfort życia mieszkańców</li> <li>Wzrost wartości inwestycyjnej domu</li> <li>Możliwość chłodzenia domu</li> <li>Brak kosztów inwestycyjnych – komin, kotłownia, magazyn opału</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Koszt inwestycji;</li> <li>Ryzyko zmiany rozwiązań prawnych;</li> <li>Niezbędna wyszkolona ekipa montażowa;</li> <li>Wrażliwość na warunki atmosferyczne;</li> <li>Konieczność zasilania w energię elektryczną</li> </ul>

Wyniki otrzymane podczas analizy wariantów wskazują, że:

- prawdopodobnym jest, że inwestycja w panele fotowoltaiczne i pompę ciepła zwróci się w okresie 8-9 lat – wszystko zależeć będzie od cen energii i paliw;
- kluczowym z punktu widzenia korzyści jest znaczne ograniczenie wpływu zmienności cen paliwa i energii elektrycznej na koszt ogrzewania budynku – uniezależnienie od dostaw zewnętrznych;
- Charakter instalacji opartej o źródła odnawialne (pompa ciepła, panele PV) ma duży walor proekologiczny i wpływa na ograniczenie emisji dwutlenku węgla na poziomie

lokalnym. Unikanie niskiej emisji (która występuje przy ogrzewaniu węglowym) ma lokalnie bardzo istotny wpływ na jakość życia.

Ilość ograniczonych emisji gazów cieplarnianych poprzez zastosowanie pompy ciepła mocy 25 kW przedstawiono w tabeli 2.

Podsumowując analizę, rozważono argumentację nie tylko finansową, ale także jakościową. To niezwykle istotne przy inwestycjach o tak długim horyzoncie.

## Podsumowanie

Fuzja pompy ciepła z systemem paneli fotowoltaicznych jest rozwiązaniem, które może być opłacalne zarówno ze względów ekologicznych, jak i ekonomicznych. Wykorzystanie takiego hybrydowego systemu pozwala uniezależnić koszt ogrzewania od cen zewnętrznych, co w perspektywie wielu zmian na rynkach może być korzystne.

Dodatkowo taki system ogrzewania wpływa na wizerunek domu, który staje się ekologiczny i nowoczesny. Coraz częściej mówi się o rozwiązaniach niezbędnych dla ochrony klimatu, taki system ogrzewania może być osobistym wkładem w walkę ze smogiem oraz globalnym ociepleniem, które to zjawiska mogą negatywnie wpłynąć na zdrowie lub życie.

Kierunkiem rozwoju takiego rozwiązania z pewnością są systemy magazynowania (zarówno ciepła, jak i energii elektrycznej). Takie urządzenia, gdyby ich działanie było uzasadnione ekonomicznie, mogłyby jeszcze bardziej zwiększyć samowystarczalność gospodarstwa domowego w kontekście zakupu energii.

Istnieje duża zasadność inwestycji w układ PV + pompa ciepła dzięki rozliczeniom prosumenckim. Opłacalność w długiej perspektywie jest bardzo prawdopodobna.

Artykuł powstał w ramach projektu nr Gospostrateg 1/385085/21/NCBR/2018 pt. „Rozwój energetyki rozproszonej w klastrach energii”, współfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu badań naukowych i prac rozwojowych „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków” GOSPOSTRATEG

**Autor:** dr. inż. Edmund Ciesielka, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: [ciesiel@agh.edu.pl](mailto:ciesiel@agh.edu.pl).

## LITERATURA

- Szymański B. Instalacje Fotowoltaiczne 2020, Wydanie IX, czerwiec 2020
- Zagórski W. Poradnik praktyczny instalatora Systemy fotowoltaiczne i słoneczne systemy grzewcze. ATUM 2018
- Sibiński M., Znajdek K. Przystępu i instalacje fotowoltaiczne. Wydawnictwo PWN 2016
- Oszczak W. Ogrzewanie domów z zastosowaniem pomp ciepła. Wydawnictwa komunikacji i łączności dodruk 2015
- Guzik J. Instalacje Centralnego ogrzewania. KaBe 2015
- <https://murator-dom.pl/instalacje/pompy-ciepala/pompa-ciepala-i-panele-fotowoltaiczne-jak-skorzystac-na-ich-wspolpracy-aa-03Xw-c8na-r8ff.html>,
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. 2015 poz. 478 z późn. zm.).
- <https://globenergia.pl/magazyn/instalacja-fotowoltaiczna-pompa-ciepala-duet-idealny/>,
- [www.vaillant.pl/klienci-indywidualni/porady-i-wiedza/poradnik/pompy-ciepala-i-instalacje-hybrydowe/wspolczynnik-cop-jak-okreslic-efektywnosc-pracy-pompy-ciepala/](http://www.vaillant.pl/klienci-indywidualni/porady-i-wiedza/poradnik/pompy-ciepala-i-instalacje-hybrydowe/wspolczynnik-cop-jak-okreslic-efektywnosc-pracy-pompy-ciepala/),
- <http://www.nie-truje.pl/baza-wiedzy/zagrozenia-dla-zdrowia/co-emitujemy-podczas-spalania>
- Zalewski W. Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne. Podstawy teoretyczne. Przykłady obliczeniowe. MASTA, rok wydania:2001, wydanie pierwsze, dodruk 2014,
- Strzyżewski J. Pompy ciepła zasady działania i wybór rozwiązań. Wiedza i praktyka, 2017,
- Rubik M. Chłodnictwo i pompy ciepła. Grupa Medium 2020