

## Analiza energetyczna, ekologiczna i ekonomiczna współpracy odnawialnych źródeł energii z pompą ciepła

Paulina Wienchol<sup>1</sup>  
*Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Śląska*

**Słowa kluczowe:** odnawialne źródła energii, zapotrzebowanie cieplne budynku, gruntowa pompa ciepła, powietrzna pompa ciepła, zrównoważony rozwój

### Streszczenie

W ramach Polityki UE do 2030 r. realizowane są trzy główne cele, które związane są ze zmniejszeniem emisji gazów cieplarnianych, zwiększeniem udziału odnawialnych źródeł energii i wzrostem efektywności energetycznej. Wykonanie założonego planu wiąże się przede wszystkim z dokonaniem niezbędnych inwestycji w sektorze komunalno-bytowym. Jest to spowodowane znaczącą ilością emisji zanieczyszczeń, które pochodzą z lokalnych kotłów i palenisk. Celem niniejszej pracy jest analiza energetyczna współpracy odnawialnych źródeł energii z pompą ciepła, na przykładzie wybranego domu jednorodzinnego, zlokalizowanego w województwie śląskim. Podczas analizy zbadano dwa przypadki, w pierwszym budynek jest ogrzewany wyłącznie gruntową pompą ciepła, a w drugim powietrzną. Następnie porównano działanie obu pomp pod względem efektywności energetycznej. W analizie ekologicznej sprawdzono wpływ wykorzystania alternatywnych źródeł energii do zasilania pompy ciepła i urządzeń gospodarstwa domowego na stan środowiska naturalnego. Analizowanymi źródłami odnawialnej energii jest energia słoneczna oraz wiatrowa. Na podstawie ich podstawowych charakterystyk oraz rzeczywistych danych środowiskowych, dotyczących promieniowania słonecznego, prędkości wiatru i temperatury otoczenia, obliczono ilość produkowanej energii w wybranych instalacjach. Następnie przeprowadzono analizę ekonomiczną, w której obliczono prosty czas zwrotu omawianych inwestycji. Otrzymane wyniki pozwolą na stwierdzenie, które urządzenie grzewcze pracuje bardziej wydajnie oraz jakie źródło odnawialnej energii przyniesie większe korzyści pod względem energetycznym, ekologicznym oraz ekonomicznym.

---

<sup>1</sup> Rozdział przygotowano podczas pracy nad projektem dyplomowym inżynierskim wykonywanym przez autora w Instytucie Techniki Ciepłej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej, pod opieką dra hab. inż. Wojciecha Stanka, prof. w Pol. Śl.

## 1 Wprowadzenie

Rozwój gospodarczy zapoczątkowany w XIX wieku przez wielką rewolucję przemysłową spowodował nagły wzrost wymiany handlowej oraz bogacenie się krajów wysoko uprzemysłowionych. Efektem postępu naukowo-technicznego były liczne przemiany w sferze społecznej, m.in. wzrost liczby ludności oraz w sferze przemysłowej, np. zwiększenie wydajności produkcji poprzez wprowadzenie maszyn. Główną konsekwencją zachodzących zmian, które zapoczątkowała industrializacja był przede wszystkim gwałtowny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną oraz szereg zagrożeń związanych ze środowiskiem naturalnym, gdyż jej produkcja odbywała się przede wszystkim w konwencjonalnych elektrowniach węglowych o niskiej sprawności oraz bez urządzeń odpylających i oczyszczających spaliny. Jak widać istnieje ścisły związek między wzrostem gospodarczym, społeczeństwem i środowiskiem. W celu zmniejszenia negatywnych skutków rozwoju gospodarczego, zdecydowano wprowadzić koncepcję zrównoważonego rozwoju. Pojęcie zrównoważonego rozwoju jest trudne do zdefiniowania, w związku z tym posiada ono wiele równorzędnych określeń. Powszechnie przyjmuje się, że zrównoważony rozwój to taki rozwój, który zaspokaja potrzeby obecne, nie zagrażając możliwościom zaspokojenia potrzeb przyszłych pokoleń [1]. W energetyce do podstawowych założeń zrównoważonego rozwoju należą: wzrost efektywności energetycznej, oszczędność energii oraz korzystanie z takich źródeł energii, których stosowanie nie powoduje emisji szkodliwych substancji ani ich znaczącego uszczuplenia przez dalsze użytkowanie. Obecnie, sektorem o istotnym znaczeniu pod względem zanieczyszczenia środowiska naturalnego jest sektor komunalno-bytowy. Wynika to z faktów, iż wg [2] zużycie ciepła w gospodarstwach domowych stanowi 37% całkowitego zużycia ciepła oraz tego, że w gospodarstwach domowych i lokalnych kotłowniach najczęściej stosowanymi urządzeniami grzewczymi są przestarzałe paleniska i kotły o małej sprawności. Spalane są również się niskie jakościowo paliwa, ponadto różne rodzaje odpadów komunalnych, a zwłaszcza tworzyw sztucznych. To sprawia, iż sektor gospodarstw domowych należy do jednych z największych źródeł zanieczyszczeń powietrza w Polsce. W ramach polityki Unii Europejskiej w zakresie klimatu i energii do 2030 r. do głównych założeń należą: ograniczenie o co najmniej 40% emisji gazów cieplarnianych (w stosunku do roku 1990 r.), zapewnienie co najmniej 27% udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii oraz wzrost o co najmniej 27% efektywności energetycznej [3]. Osiągnięcie tych postanowień wymaga między innymi zastosowania przez odbiorców końcowych zrównoważonych systemów grzewczych, czyli takich, których korzystanie nie wpływa negatywnie na środowisko naturalne.

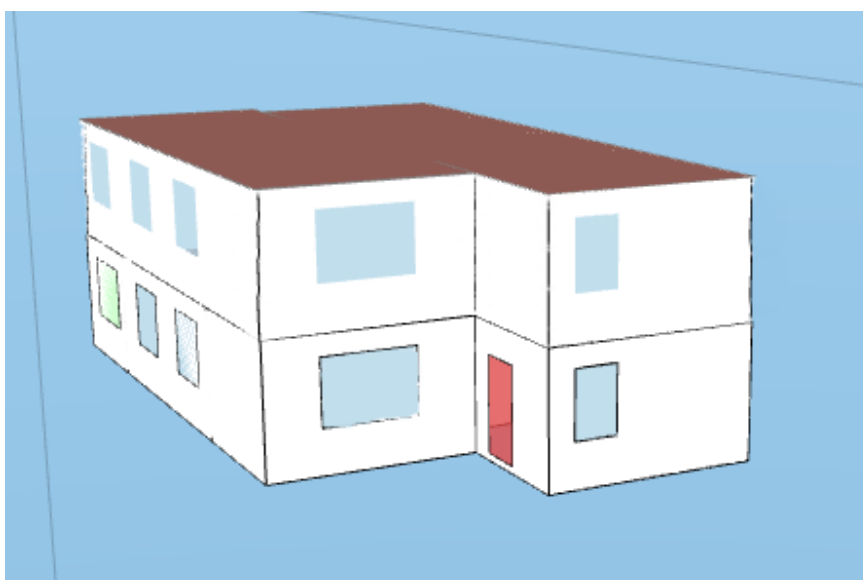
## 2 Analiza energetyczna budynku

Podstawowym narzędziem, które służy do oceny projektowego obciążenia cieplnego budynku oraz oddziaływania poszczególnych składników bilansu energii na wartość finalnego obciążenia cieplnego jest analiza energetyczna. W nowych projektach, ułatwia ona zauważyć miejsca przynoszące największe straty ciepła i pozwala na dokonanie koniecznych korekt przed rozpoczęciem budowy, natomiast w istniejących budynkach umożliwia wskazanie elementów, których modernizacja przyniesie największe korzyści pod względem energetycznym. W ramach niniejszej analizy zbadano zapotrzebowanie na ciepło typowego domu jednorodzinnego zlokalizowanego w województwie śląskim. Założono, że ciepło do systemu centralnego ogrzewania

i ciepłej wody użytkowej jest w całości pokrywane w pierwszym przypadku przez powietrzną pompę ciepła, a w drugim gruntową pompę ciepła. Natomiast energia elektryczna, która ma zasilać system grzewczy oraz wszystkie inne urządzenia elektryczne, znajdujące się w gospodarstwie domowym, jest pobierana z sieci i uzupełniana przez przydomową turbinę wiatrową, instalację paneli fotowoltaicznych lub jednym i drugim.

## 2.1 Cel i przedmiot badania

Głównym celem badania projektowego zapotrzebowania na ciepło jest dobór mocy urządzeń grzewczych oraz do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ponadto analiza energetyczna ułatwi zlokalizować słabe punkty konstrukcji, które przynoszą największe straty ciepła do otoczenia. Analizowanym budynkiem jest dom jednorodzinny zaprojektowany przez firmę „Zespół usług projektowych” w Tarnowskich Górach. Jest to dom budowany w sposób tradycyjny, jednopiętrowy, zamieszkały przez trzyosobową rodzinę. Dom jest niepodpiwniczony, z niezagospodarowanym poddaszem. Powierzchnia użytkowa budynku wynosi 207 m<sup>2</sup>. Badany obiekt przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Rzut analizowanego budynku wykonany w programie Purmo OZC 6.7 Basic

## 2.2 Podstawowe założenia i metodyka obliczeń zapotrzebowania na ciepło

W celu określenia potrzeb energetycznych budynku wykorzystano darmowy program Purmo OZC 6.7 Basic. Jest to program, który na podstawie obowiązujących norm i przepisów pozwala na stosunkowo szybkie i dokładne obliczenie projektowego obciążenia cieplnego pomieszczeń, określenie sezonowego zapotrzebowania na ciepło, a także wykonanie Świadectw Energetycznych budynku oraz ich poszczególnych części.

Do obliczenia projektowego obciążenia cieplnego program wykorzystuje normę PN-EN ISO 12831:2006. Norma ta przedstawia metody obliczania strat ciepła i określa sposób obliczenia

zapotrzebowania na moc cieplną dla typowych warunków projektowych. Umożliwia ona określenie obciążenia cieplnego dla poszczególnych pomieszczeń w celu doboru grzejników oraz dla całego budynku lub jego części w celu doboru źródła ciepła [4]. Norma PN-EN ISO 13790 pozwala na obliczenie sezonowego zapotrzebowania na ciepło, natomiast metodę obliczeniową mocy cieplnej do podgrzania ciepłej wody użytkowej zawiera norma EN 15316:2007.

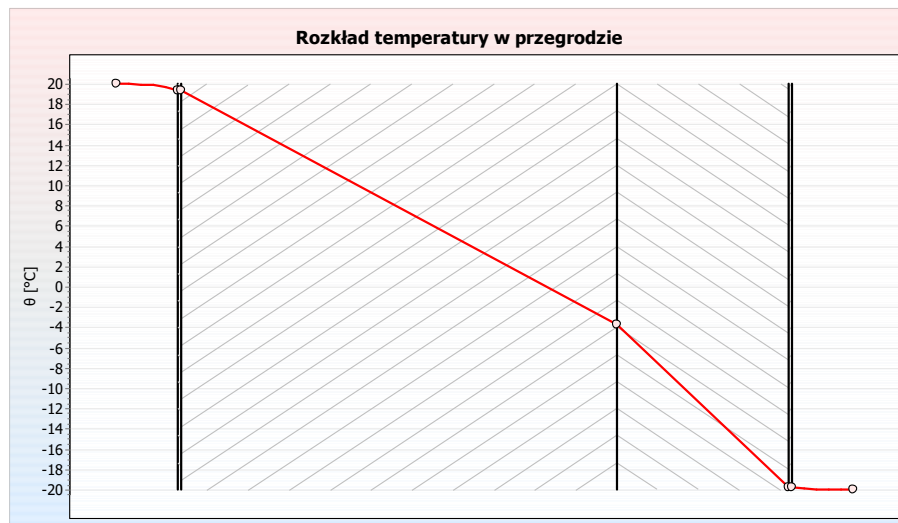
Pierwszym etapem wyznaczenia projektowego obciążenia cieplnego jest wprowadzenie do programu podstawowych danych na temat budynku, czyli jego typ i lokalizacja. Dom usytuowany jest na Śląsku, co odpowiada III strefie klimatycznej. Jest to ważne, ze względu na wartości projektowej temperatury zewnętrznej i średniej rocznej temperatury zewnętrznej, które według [4] wynoszą kolejno  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

W kolejnym kroku wyznaczono współczynniki przenikania ciepła  $U$  dla ścian, podłóg, dachu, stropodachu, okien i drzwi. Jest to współczynnik, który określa przenikanie ciepła przez przegrody termiczne. Im mniejszy współczynnik przenikania ciepła posiada przegroda, tym lepsza jest jej izolacyjność cieplna. Program w swojej bazie posiada katalog materiałów jednorodnych i warstw niejednorodnych wraz z ich najważniejszymi właściwościami. W celu wyznaczenia współczynników przenikania ciepła należy najpierw określić grubość oraz materiał poszczególnych warstw, z których jest wykonana dana przegroda. Następnie są one obliczane w programie na podstawie normy PN-EN ISO 6946. Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1: Zestawienie współczynników przenikania ciepła  $U$  dla przegród w budynku.

<b>Przegroda</b>	<b>Wartość współczynnika przenikania ciepła <math>U</math>, <math>W/m^2K</math></b>
Ściana zewnętrzna	0,121
Ściana wewnętrzna	0,940
Podłoga na gruncie	0,217
Strop	0,751
Dach	0,137
Drzwi zewnętrzne	1,500
Drzwi wewnętrzne	1,500
Okno	1,500

Analizując wyniki obliczeń można stwierdzić, że przegrody, które są w bezpośrednim kontakcie z otoczeniem mają mniejsze wartości współczynnika przenikania ciepła. Oznacza to, że są one lepszymi przegrodami z uwagi na izolacyjność. Jest to słuszne pod względem energetycznym, ponieważ występują mniejsze straty do otoczenia. Na rysunku 2 przedstawiono wygenerowany w programie rozkład temperatury dla przegrody zewnętrznej. Ściana zewnętrzna jest zbudowana z tynku cementowego o grubości 0,2 cm, cegły „Porotherm” o grubości 38 cm, warstwy termoizolacyjnej (styropian) o grubości 15 cm oraz tynku wapiennego o grubości 0,2 cm.



Rysunek 2. Rozkład temperatury w ścianie zewnętrznej

Następnie, zgodnie z projektem architektonicznym, wprowadzono do programu model domu, a poprzez zdefiniowanie przeznaczenia każdego z pomieszczeń, wyznaczono ilość ciepła, która jest potrzebna do utrzymania komfortu cieplnego. Przez komfort cieplny [5] rozumiany jest stan, w którym osoba przebywająca wewnątrz nie odczuwa ani ciepła ani chłodu. Realizuje się to poprzez ustalenie temperatury wewnętrznej poszczególnych pomieszczeń w domu. Dla po-  
koi, sypialń, kuchni i korytarzu temperatura wewnętrzna wynosi 20°C, a dla łazienki 24°C.

Kolejnym etapem obliczeń jest wybranie istniejących w budynku mostków cieplnych z wbudowanego w programie katalogu. Mostek cieplny, inaczej termiczny jest to zjawisko polegające na miejscowym zwiększeniu przenikania ciepła przez przegrodę budowlaną, związane z niejednorodnością konstrukcji.

W budynku zastosowano najbardziej typową wentylację naturalną, zwaną grawitacyjną. Napędem wentylacji naturalnej jest różnica gęstości powietrza zimnego, które napływa zewnątrz pomieszczeń i powietrza ciepłego, które znajduje się wewnątrz. Aby wentylacja naturalna działała prawidłowo, do pomieszczenia musi dostać się odpowiednia ilość świeżego powietrza.

W projektowaniu obciążenia cieplnego dodatkową zmianą, w stosunku do poprzednio obowiązującej normy PN-B-03406:1994, jest uwzględnienie nadwyżki mocy cieplnej. Obliczona nadwyżka mocy umożliwi osiągnięcie wymaganej temperatury wewnętrznej w określonym czasie po okresie osłabienia, np. ogrzewaniu z przerwami lub niższym niż standardowe. Wartość nadwyżki cieplnej zależy od wielkości powierzchni ogrzewanej oraz współczynnika korekcyjnego.

Całkowite zapotrzebowanie na moc cieplną potrzebną do ogrzania budynku, przedstawiono wzorem (1). Stanowi ono sumę strat ciepła przez przenikanie wszystkich przestrzeni ogrzewanych z wyłączeniem ciepła wymianianego wewnątrz budynku, wentylacyjnej straty ciepła wszystkich przestrzeni ogrzewanych z wyłączeniem ciepła wymianianego wewnątrz budynku i nadwyżki mocy cieplnej wszystkich przestrzeni ogrzewanych wymaganych do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania.

$$\phi_{HL} = \sum \phi_{T,i} + \sum \phi_{V,i} + \sum \phi_{RH,i} \quad (1)$$

gdzie:

$\phi_{T,i}$  projektowa strata ciepła przestrzeni ogrzewanej (i) przez przenikanie, W;  $\phi_{V,i}$  - projektowa wentylacyjna strata ciepła przestrzeni ogrzewanej (i), W;  $\phi_{RH,i}$  - nadwyżka mocy cieplnej do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania strefy ogrzewanej (i), W.

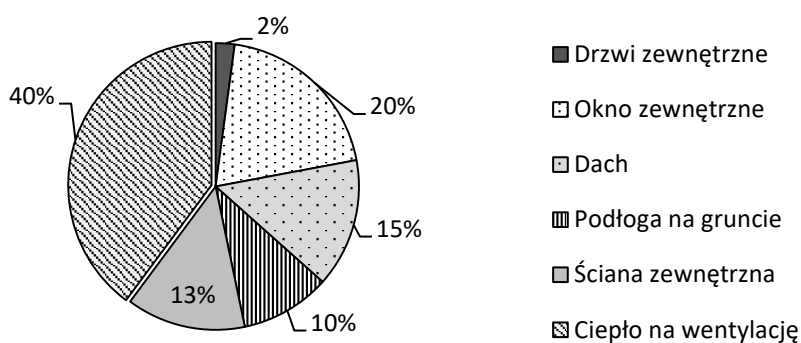
### 2.3 Wyniki obliczeń obciążenia cieplnego budynku

Projektowe obciążenie cieplne budynku jest podstawowym narzędziem pozwalającym na wybór urządzeń grzewczych oraz do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Wyniki analizy energetycznej, które są podstawą do dalszych rozważań, zostały przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2: Zestawienie wartości mocy cieplnej dla analizowanego budynku.

Oznaczenie	Wartość mocy cieplnej, W
Projektowa strata ciepła przez przenikanie	6 894
Projektowa wentylacyjna strata ciepła	3 548
Nadwyżka mocy cieplnej	2 276
Projektowe obciążenie cieplne budynku	12 718
Moc cieplna na cele c.w.u.	2 613

Obliczona wartość projektowego obciążenia cieplnego budynku, oznacza maksymalne ciepło potrzebne do ogrzania domu, przy minimalnej temperaturze zewnętrznej, która wynosi  $-20^{\circ}\text{C}$ . Na rysunku 3 przedstawiono szczegółowe zestawienie strat ciepła w budynku.



Rysunek 3. Szczegółowe zestawienie strat ciepła

Na rysunku 3 widać, że największa część zapotrzebowania na ciepło jest przeznaczona na cele wentylacyjne. Aby ograniczyć nadmiernych strat ciepła przez wentylację można zastosować na przykład system wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła (rekuperacja).

## 2.4 Zapotrzebowanie na ciepło w ciągu roku

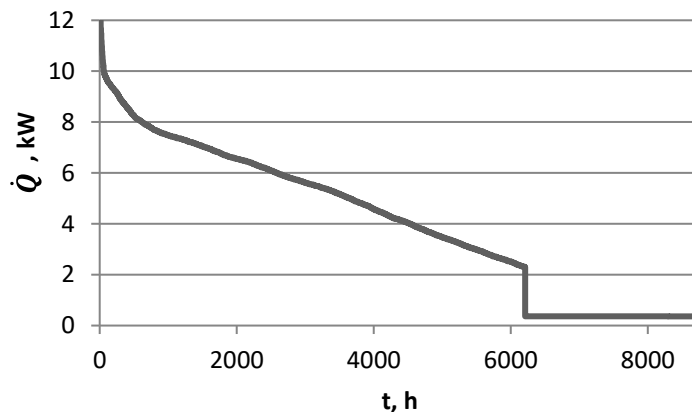
Obciążenie cieplne budynku zmienia się z w ciągu roku, ponieważ jest ściśle związane z temperaturą powietrza na zewnątrz. Im niższa temperatura zewnętrzna, tym większe są potrzeby energetyczne domu, wynika to z konieczności utrzymania komfortu cieplnego mieszkańców, przebywających w pomieszczeniach. Zmienność mocy cieplnej obliczono na podstawie rzeczywistych danych środowiskowych dla Katowic z 2016 r. [6] oraz wykorzystując poniższe równanie (2):

$$\dot{Q}_g = \dot{Q}_{g \max} \cdot \frac{t_w - t_z}{t_w - t_{z \max}} \quad (2)$$

gdzie:

$\dot{Q}_{g \max}$  – maksymalne zapotrzebowanie na moc cieplną, kW;  $t_w$  – projektowa temperatura wewnętrzna, °C;  $t_z$  – temperatura zewnętrzna, °C;  $t_{z \max}$  – maksymalna temperatura zewnętrzna, °C.

Równanie (2) jest prawidłowe, jeżeli temperatura zewnętrzna wynosi poniżej 14 °C, w innym przypadku centralne ogrzewanie jest wyłączone, wtedy  $\dot{Q}_g = 0$ . Na rysunku 5 przedstawiono wykres uporządkowany zapotrzebowania na moc cieplną, wykonany na podstawie wyników obliczeń.

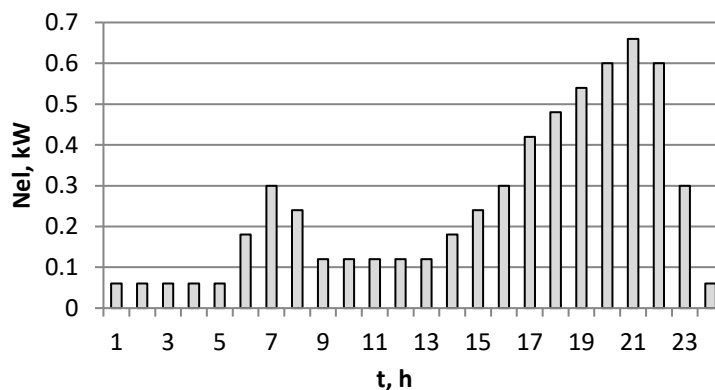


Rysunek 4. Uporządkowany wykres zapotrzebowania na moc cieplną obiektu

Na rysunku 4 wyraźnie widać granicę sezonu grzejnego, czyli okresu, w którym temperatura zewnętrzna jest niższa od 14 °C. Można zauważyć także, że maksymalne obciążenie cieplne budynku występuje tylko kilka dni w ciągu roku. W okresie letnim zapotrzebowanie na ciepło wiąże się wyłącznie z przygotowaniem ciepłej wody użytkowej.

## 2.5 Zapotrzebowanie na energię elektryczną

Godzinowe zapotrzebowanie na energię elektryczną jest zmienne i ściśle zależy od danego miesiąca oraz godziny dnia. Na podstawie rachunków za energię elektryczną właściciela analizowanego budynku, założono, że roczne zużycie energii elektrycznej do zasilania urządzeń gospodarstwa domowego i oświetlenia wynosi 2200 kWh. W projekcie ustalono dobowy profil zapotrzebowania na energię elektryczną na podstawie obserwacji oraz w uproszczeniu założono, że w każdym miesiącu jest on taki sam. Moc elektryczną potrzebną do zasilenia urządzeń gospodarstwa domowego w ciągu dnia przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5. Dobowy rozkład mocy elektrycznej do napędu urządzeń elektrycznych

Na rysunku 5 uwzględniono jedynie zapotrzebowanie na moc elektryczną potrzebną do zasilania urządzeń elektrycznych w domu. W kolejnym rozdziale przedstawiono metodę obliczeń mocy elektrycznej, potrzebnej do napędu urządzeń grzewczych.

## 3 Wybrane systemy ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej

Jako źródło ciepła grzewczego oraz ciepłej wody użytkowej dla analizowanego domu jednorodzinnego zastosowano, w zależności od badanego przypadku: powietrzną pompę ciepła lub gruntową pompę ciepła. Pompy ciepła dobrano tak, aby w całości pokrywały zapotrzebowanie na ciepło. Celem analizy jest porównanie dwóch pomp ciepła pod względem efektywności energetycznej.

Głównym zadaniem pomp ciepła jest przekazywanie ciepła z dolnego niskotemperaturowego źródła ciepła do górnego źródła o temperaturze wyższej. Jak wiadomo taki proces nie może przebiegać samorzutnie, dlatego jest to realizowane w wymuszonym obiegu termodynamicznym poprzez dostarczenie pracy do napędu sprężarki lub dostarczenie strumienia ciepła [7].

Charakterystyczną wielkością opisującą efektywność energetyczną pompy ciepła jest współczynnik wydajności COP (ang. Coefficient Of Performance). Jest to stosunek ciepła grzejnego do zużycia energii potrzebnej do napędu pompy ciepła, co przedstawiono wzorem (3).



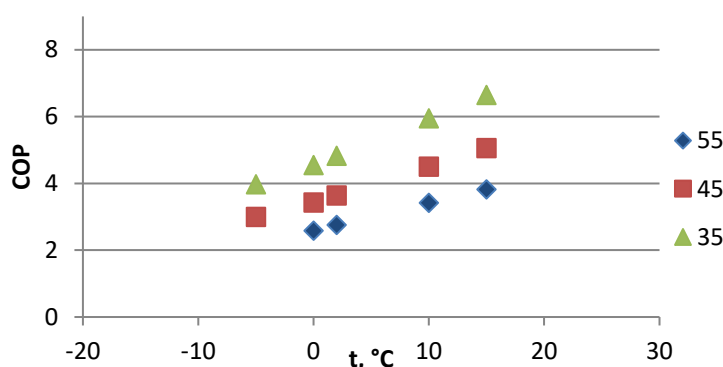
$$COP = \frac{Q_{u\dot{z}}}{E_{el}} \quad (3)$$

gdzie:

$Q_{u\dot{z}}$  – ciepło grzejne, J;  $E_{el}$  - zużycie energii elektrycznej, J.

### 3.1 Pompa powietrzna

W pierwszym wariantcie analizy dobrano pompę ciepła Vitocal 200-S firmy Viessmann [8]. Jest to pompa ciepła typu powietrze/woda o mocy znamionowej 10,60 kW. Na rysunku 6 przedstawiono wartości współczynnika efektywności energetycznej w funkcji temperatury dolnego źródła, którym w tym przypadku jest powietrze zewnętrzne.

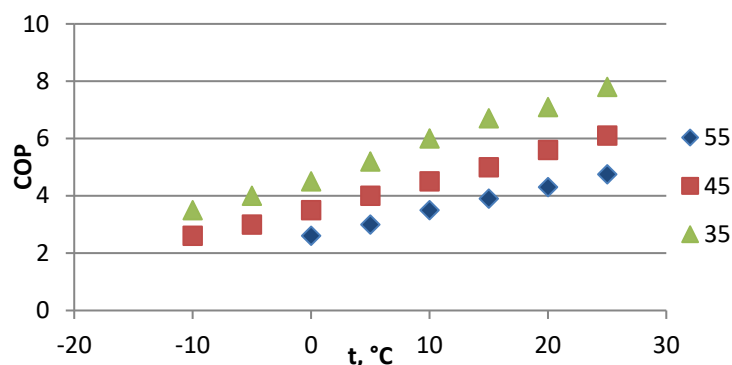


Rysunek 6. Wartości COP dla pompy powietrznej w zależności od temperatury zewnętrznej

Na rysunku 6 widać, że współczynnik wydajności zmienia się liniowo w zależności od temperatury zewnętrznej, czyli dolnego źródła ciepła. Wraz ze wzrostem temperatury dolnego źródła ciepła, współczynnik COP rośnie. Wartość współczynnika efektywności energetycznej jest zależna również od temperatury górnego źródła, czyli ciepłej wody użytkowej. Im temperatura ciepłej wody użytkowej jest niższa, tym większa wartość współczynnika COP.

### 3.2 Pompa gruntowa

W kolejnym wariantcie analizy zbadano efektywność energetyczną gruntowej pompy ciepła Vitocal 300-G firmy Viessmann [9]. Jest to pompa ciepła typu solanka-woda o mocy znamionowej cieplnej 12,95 kW. Na rysunku 7 przedstawiono wartości współczynnika wydajności energetycznej w funkcji temperatury dolnego źródła, którym jest grunt.



Rysunek 7. Wartości COP dla pompy gruntowej w zależności od temperatury solanki

Analogicznie do powietrznej pompy ciepła, na rysunku 7 można zauważyć, że im mniejsza różnica między temperaturą dolnego i górnego źródła ciepła, tym większą wartość przyjmuje współczynnik efektywności energetycznej. W badaniu efektywności energetycznej gruntowej pompy ciepła założono, że temperatura solanki jest stała w ciągu roku i wynosi 10 °C.

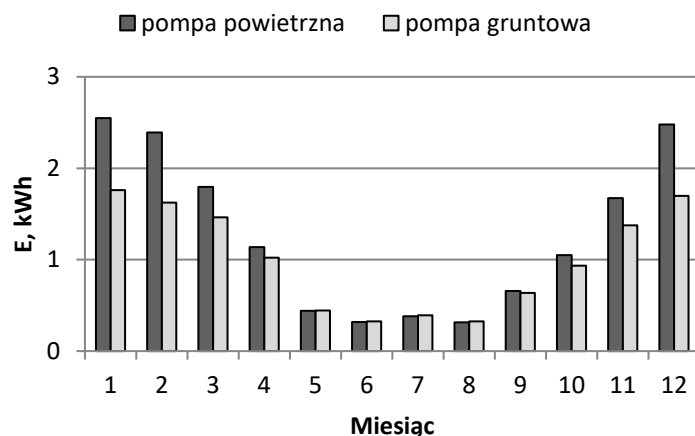
### 3.3 Porównanie systemów grzewczych w budynku

Na podstawie danych klimatycznych [6] oraz korzystając ze wzoru (3), obliczono średnie wartości współczynników efektywności energetycznej w ciągu roku dla obu pomp ciepła, w zależności od temperatury górnego źródła ciepła. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3: Średnioroczne wartości współczynników COP dla analizowanych pomp ciepła.

Typ pompy ciepła	Temperatura górnego źródła, °C		
	35	45	55
Powietrze-woda	5,68	4,30	3,25
Solanka-woda	5,92	4,54	3,46

Jak widać urządzeniem o większym średniorocznym współczynniku COP jest gruntowa pompa ciepła. Wynika to faktu, iż temperatura w głębokich warstwach gruntu w ciągu roku utrzymuje się na stałym poziomie. Jest to szczególnie korzystne pod względem efektywności energetycznej w miesiącach zimowych, w których wymagana moc grzewcza jest najwyższa, wówczas gruntowa pompa pracuje wydajniej w stosunku do powietrznej pompy ciepła, która pobiera ciepło z zewnątrz. Jest to spowodowane faktem, iż temperatura zewnętrzna w ciągu roku ulega silnym wahaniom. Zimą temperatura powietrza przyjmuje bardzo niskie wartości, często ujemne. Nie oznacza to, że pompa nie jest w stanie produkować wtedy ciepła, jednak pracuje ze znacznie mniejszą sprawnością. Do dalszej analizy wykorzystano wartości obliczone dla pracy pomp przy temperaturze górnego źródła równej 55 °C. Na rysunku 8 przedstawiono wykres rocznego zużycia energii elektrycznej do zasilania obu pomp ciepła.



Rysunek 8. Pobór energii elektrycznej z sieci przez pompy ciepła: powietrzną i gruntową

Na rysunku 8 wyraźnie widać, że gruntowa pompa ciepła przez większość roku pobiera znacznie mniej energii elektrycznej. Wyjątkiem jest okres letni, gdy temperatura powietrza przyjmuje większe wartości od temperatury gruntu, wówczas powietrzna pompa ciepła pobiera nieznacznie mniej energii elektrycznej. Po dokonaniu analizy energetycznej pomp ciepła można stwierdzić, że bardziej skutecznym urządzeniem grzewczym jest pompa gruntowa, szczególnie w okresie zimowym. Jednak w celu dokładnego zbadania zagadnienia, należałoby wykonać również analizę ekonomiczną, która pomogłaby wskazać bardziej opłacalne urządzenie. Ponieważ po wyznaczeniu wskaźników ekonomicznych mogłoby się okazać, że koszt gruntowej pompy ciepła, wraz z odwiertem, może przewyższyć osiągniętą oszczędność energii elektrycznej w całym okresie jej eksploatacji w stosunku do powietrznej pompy ciepła, której koszt jest dużo niższy.

#### 4 Odnawialne źródła energii

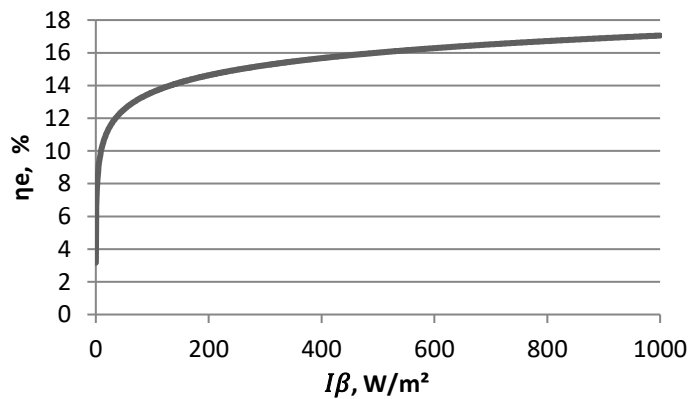
Do podstawowych rodzajów energii odnawialnej zalicza się energię promieniowania słonecznego, wiatru, wód, geotermalną, jądrową oraz biomasę. W Polsce, wg [10] całkowity udział odnawialnych źródeł energii w końcowym zużyciu energii brutto w 2015 roku kształtował się na poziomie 12,70%. Natomiast udział zużycia energii słonecznej w 2015 roku osiągnął poziom 0,52%. W ostatnich latach udział odnawialnych źródeł energii w końcowym zużyciu energii systematycznie wzrastał. Wynika to ze sposobu prowadzenia polityki energetycznej kraju, która dąży do jego zwiększenia do poziomu 20% (do 2030 roku), jest to realizowane poprzez różne programy wsparcia OZE, m.in. dotacje, dofinansowania oraz kredyty.

W tym fragmencie analizy zbadano dwa źródła odnawialnej energii – słońca oraz wiatru. Obliczono ile energii elektrycznej każda z instalacji jest w stanie wyprodukować w ciągu roku na Śląsku [6], a wyniki wykorzystano do dalszej części pracy.

## 4.1 Ogniwa fotowoltaiczne

Jednym z podstawowych sposobów wykorzystywania energii promieniowania słonecznego jest jej bezpośrednie przetwarzanie na energię elektryczną w ogniwach fotowoltaicznych. Ogniwa fotowoltaiczne zazwyczaj zbudowane są z wysokiej czystości krzemu, a ich działanie polega na generacji siły elektromotorycznej w wyniku napromieniowania półprzewodnika [11]. Sprawność energetyczna ogniw fotowoltaicznych z krzemu monokrystalicznego kształtuje się obecnie na poziomie  $14 \div 17\%$ , istnieją również ogniwa monokrystaliczne o specjalnej konstrukcji o sprawności osiągającej  $20\%$ . Jednak z uwagi na ich wysokie koszty produkcji są one rzadko stosowane [12].

W niniejszej analizie do produkcji energii elektrycznej zastosowano instalacje fotowoltaiczną, w której skład wchodzi 12 ogniw fotowoltaicznych firmy SELFA GE S.A. o łącznej mocy  $3,3 \text{ kW}$  [13]. Sprawność energetyczną pojedynczego ogniwa przedstawiono na rysunku 9.



Rysunek 9. Sprawność energetyczna ogniwa fotowoltaicznego w funkcji natężenia promieniowania słonecznego

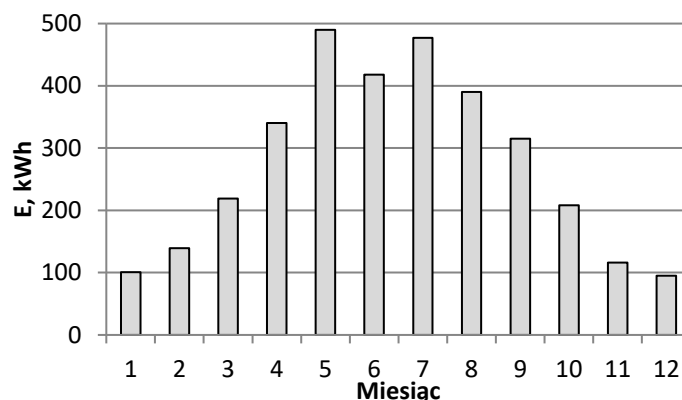
Jak widać na rysunku 9 sprawność instalacji fotowoltaicznej jest zdeterminowana przez intensywność promieniowania słonecznego. Sprawność maksymalna badanego ogniwa wynosi  $17\%$ . Aby obliczyć ilość produkowanej energii w badanej instalacji fotowoltaicznej posłużono się wzorem (4):

$$N_{el,PV} = l \cdot A \cdot I_{\beta} \cdot \eta \quad (4)$$

gdzie:

$l$  – liczba ogniw fotowoltaicznych;  $A$  – powierzchnia ogniwa fotowoltaicznego,  $\text{m}^2$ ;  $I_{\beta}$  – natężenie promieniowania słonecznego,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;  $\eta$  – sprawność ogniwa fotowoltaicznego, %.

Na rysunku 10 przedstawiono wykres, obrazujący roczną produkcję energii elektrycznej w omawianej instalacji fotowoltaicznej.



Rysunek 10. Produkcja energii elektrycznej w panelach fotowoltaicznych w ciągu roku

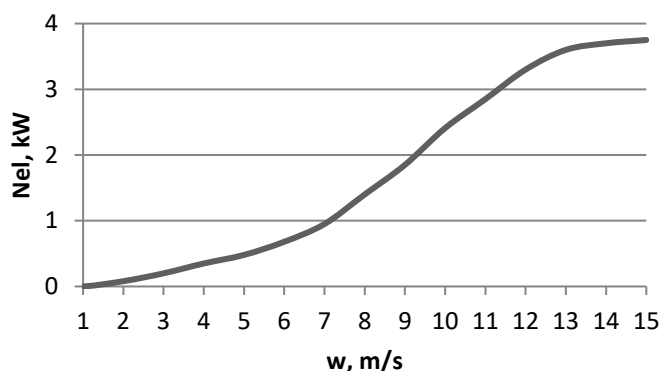
Na rysunku 10 można z łatwością zauważyć, że instalacja jest w stanie wytwarzać energię elektryczną przez cały rok, jednak największa produkcja energii przypada na miesiące letnie. Jest to związane z wartością natężenia promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi, która w tych miesiącach jest największa.

## 4.2 Energia wiatrowa

Energetyka wiatrowa należy do jednych z najlepiej rozwiniętych gałęzi odnawialnych źródeł energii. Wynika to z faktu, iż energia wiatru od wieków była wykorzystywanym przez człowieka źródłem energii. Najstarsze informacje o urządzeniach wiatrowych można przeczytać w kodeksie Hammurabiego (1750 r. p.n.e.), natomiast w Polsce pierwszy raz o wiatraku napisano w zezwoleniu na jego budowę, wydanym w 1271 r. W XVII w. w Polsce pracowało aż 20 tysięcy wiatraków, niestety w XX w. nastąpił spadek zainteresowania urządzeniami wiatrowymi, było to spowodowane wybuchem II wojny światowej, podczas której większość z nich została zlikwidowana. Impulsem do ponownego zainteresowania turbinami wiatrowymi był między innymi kryzys paliwowy w 1957 r., w czasie którego opracowano technologię współczesnej turbiny wiatrowej. W Polsce pierwsza turbina wiatrowa została zbudowana w 1991 r. [14].

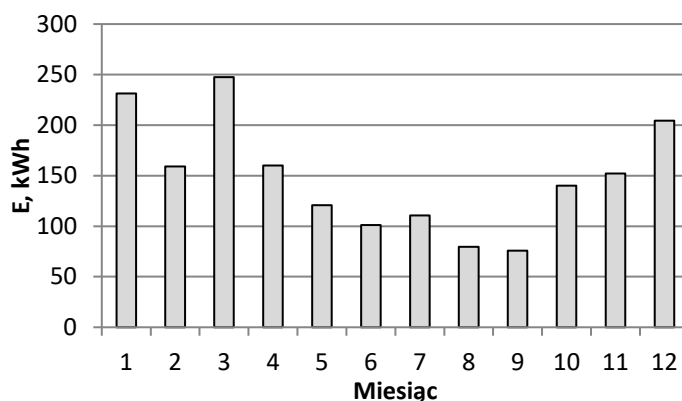
Podstawową charakterystyką turbiny wiatrowej jest jej krzywa mocy w funkcji prędkości wiatru. Jest to graficzne zobrazowanie zmiany wartości mocy w zależności od prędkości wiatru. Charakterystyka mocy turbiny jest najczęściej podawana przez producentów turbin wiatrowych w ich katalogach.

W analizie przyjęto, że produkcja energii elektrycznej odbywa się w turbinie wiatrowej o mocy 3 kW [15]. Jest to turbina 2-wirnikowa o osi pionowej, jej wysokość wynosi 3,5 m, a waga 415 kg. Na rysunku 11 przedstawiono wykres mocy dla badanej turbiny.



Rysunek 11. Krzywa mocy badanej turbiny wiatrowej

Na rysunku 11 można zauważyć, że turbina uruchamia się przy prędkości wiatru równej 2 m/s, natomiast osiąga swoją maksymalną prędkość przy 12 m/s. Maksymalna prędkość wiatru wynosi 15 m/s. Przy większych prędkościach turbina ze względów bezpieczeństwa się wyłącza. Korzystając z podstawowej charakterystyki turbiny wiatrowej oraz danych klimatycznych [6], obliczono produkcję energii elektrycznej w ciągu roku. Na rysunku 12 przedstawiono produkcję energii elektrycznej w omawianej turbinie wiatrowej, w kolejnych miesiącach roku.



Rysunek 12. Produkcja energii elektrycznej w turbinie wiatrowej o mocy 3 kW w ciągu roku

Na rysunku 12 widać, iż produkcja energii w turbinie wiatrowej w ciągu roku jest zmienna, nie można jej przewidzieć. W niektórych miesiącach zimowo-wiosennych produkcja energii elektrycznej jest większa, jednak nie jest to stała zależność.

## 5 Analiza energetyczna i ekologiczna współpracy OZE z pompą ciepła

W Polsce, istotnym problemem jest obecnie wysoki udział emisji zanieczyszczeń, pochodzących z sektora komunalno-bytowego. Ich źródłami są zainstalowane w gospodarstwach domowych kotły i urządzenia grzewcze. Mają one małe moce, jednak z uwagi na ich niską efektywność energetyczną oraz dużą ilość, stanowią znaczącą część w krajowym bilansie emisji zanieczyszczeń. Jednym ze sposobów zmniejszenia emisji zanieczyszczeń w sektorze komunalno-

bytowym może być zastosowanie w gospodarstwach domowych pomp ciepła, które wykorzystują źródła odnawialnej energii, zawartej w powietrzu, gruncie lub wodzie. W celu jeszcze większej poprawy kondycji środowiska naturalnego z punktu widzenia ekologicznego, zainstalowane pompy ciepła można zasilać z przydomowych instalacji OZE, natomiast resztę energii elektrycznej koniecznej do pokrycia potrzeb elektrycznych domu, pobierać z sieci. W ten sposób gospodarstwo domowe staje się niemal samowystarczalne energetycznie. Celem analizy ekologicznej jest zbadanie, w jakim stopniu produkcja energii elektrycznej w przydomowych mikroinstalacjach jest w stanie zaspokoić potrzeby urządzeń elektrycznych w domu, wraz z pompą ciepła oraz jak przekłada to się na oszczędność energii pierwotnej i ograniczenie emisji zanieczyszczeń do otoczenia.

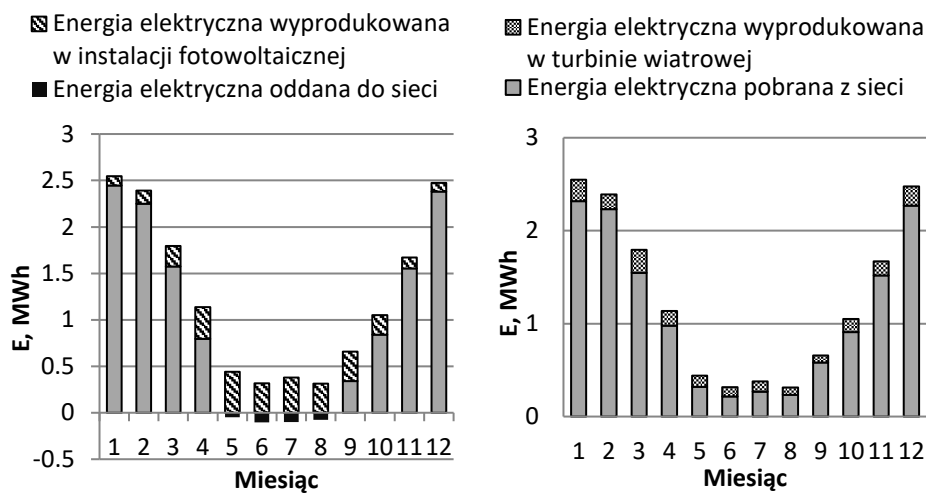
## 5.1 Bilans energii

W celu obliczenia oszczędności energii pierwotnej i zbadania wielkości emisji dwutlenku węgla, w zależności od wykorzystanej pompy ciepła oraz analizowanego źródła elektryczności, w pierwszej kolejności posłużono się bilansem energii. Bilans energii wynika z pierwszej zasady termodynamiki, która mówi o tym, że w stanie ustalonym energia doprowadzona do układu jest równa energii wyprowadzonej [16]. Ściany analizowanego budynku tworzą osłonę kontrolną układu, energią doprowadzoną do układu jest energia elektryczna (z sieci, instalacji fotowoltaicznej lub turbiny wiatrowej), natomiast energię wyprowadzoną z układu stanowi energia zużyta do celów grzewczych, przygotowania ciepłej wody użytkowej i zasilania urządzeń elektrycznych.

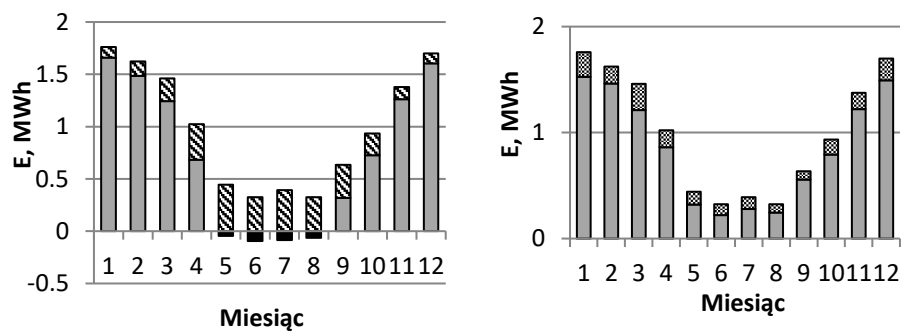
Podczas analizy zbadano cztery następujące warianty:

- Wariant „0” – referencyjny, energia elektryczna do zasilania wszystkich urządzeń elektrycznych pochodzi wyłącznie z sieci,
- Wariant „1” – energia elektryczna pochodzi z instalacji fotowoltaicznej i sieci,
- Wariant „2” – energia elektryczna pochodzi z turbiny wiatrowej i sieci,
- Wariant „3” – energia elektryczna pochodzi z obu źródeł odnawialnej energii.

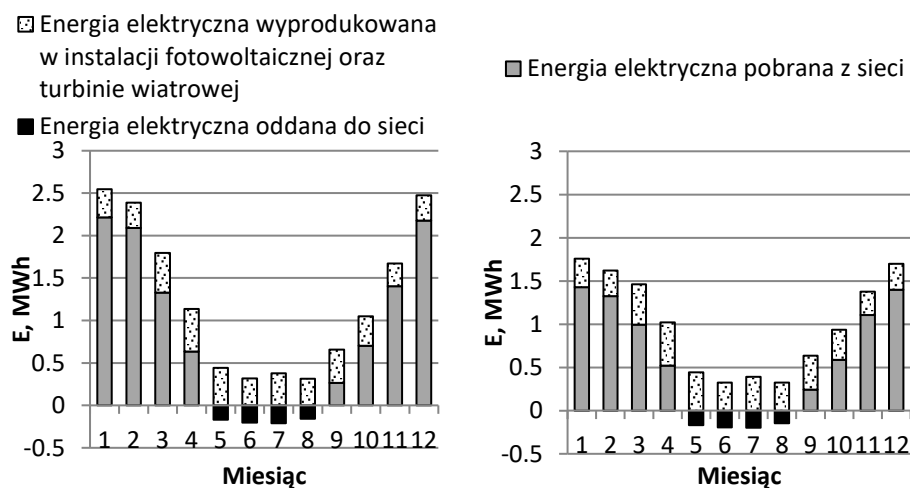
Każdy wariant zbadano dla powietrznej oraz gruntowej pompy ciepła. Na rysunkach 8, 13, 14 i 15 przedstawiono wyniki bilansów energii dla wszystkich możliwych wariantów. Po lewej stronie umieszczono bilans energii dla instalacji fotowoltaicznej, natomiast po prawej znajduje się bilans energii dla turbiny wiatrowej.



Rysunek 13. Bilans energii dla powietrznej pompy ciepła i odnawialnych źródeł energii



Rysunek 14. Bilans energii dla gruntowej pompy ciepła i odnawialnych źródeł energii



Rysunek 15. Bilans energii dla powietrznej i gruntowej pompy ciepła oraz sumy produkowanej energii elektrycznej w analizowanych instalacjach



Na rysunkach 13, 14 i 15 można z łatwością zauważyć, że w każdym z badanych wariantów produkcja energii elektrycznej w przydomowych mikroinstalacjach nie jest w stanie w pełni pokryć zapotrzebowania na energię elektryczną w ciągu całego roku. Wyjątkiem jest instalacja paneli fotowoltaicznych, która w trakcie okresu letniego produkuje energię elektryczną w ilości większej niż wynosi zapotrzebowanie energetyczne budynku, co prezentują czarne słupki, które są poniżej poziomej osi. Oznacza to, że produkowana energia wystarcza nie tylko na zasilenie wszystkich urządzeń elektrycznych, ale dodatkowo istnieje także możliwość oddawania jej do sieci. Podobnie w przypadku, gdy działa zarówno instalacja ogniw fotowoltaicznych, jak i turbina wiatrowa. Wynika to z faktu, że latem zapotrzebowanie na ciepło jest małe, a instalacja fotowoltaiczna w tym okresie produkuje najwięcej energii elektrycznej. Chociaż turbina wiatrowa nie jest w stanie zapewnić całkowitej niezależności energetycznej domu, to w okresie zimowo-wiosennym jest ona w stanie wyprodukować nieco więcej energii elektrycznej niż panele fotowoltaiczne.

## 5.2 Zużycie energii pierwotnej

Energia pierwotna to energia czerpana z natury w postaci odnawialnej lub nieodnawialnej. W świadectwach charakterystyki energetycznej określa się ją jako ilość energii wydobytej u źródła i potrzebnej do pokrycia zapotrzebowania energii cieplnej domu (ogrzewanie, przygotowanie ciepłej wody użytkowej). W celu obliczenia zużycia energii pierwotnej dla badanych wariantów, wykorzystano wzory (5) i (6):

$$E_{chem,pal} = \frac{E_{el}}{\bar{\eta}_{Eel}} \cdot 100\% \quad (5)$$

gdzie:

$\bar{\eta}_{Eel}$  - średnia sprawność przemiany netto, %;  $E_{el}$  - zużycie energii elektrycznej do zasilenia urządzeń elektrycznych w domu, J.

Roczna wartość zużycia energii elektrycznej  $E_{el}$  jest sumą poboru energii elektrycznej przez pompę ciepła oraz urządzeń elektrycznych, która została obliczona w poprzednim rozdziale. Natomiast średnia sprawność przemiany netto  $\bar{\eta}_{Eel}$  jest to stosunek całkowitej ilości energii uzyskanej z przemiany, pomniejszonej o zużycie energii na wsad z produkcji własnej oraz zużycie energii pochodzącej z danej przemiany a zużytej na jej potrzeby energetyczne do energii zawartej we wsadzie i energii doprowadzonej z zewnątrz na potrzeby energetyczne przemiany [17]. W niniejszej analizie wykorzystano średnią sprawność netto przemiany energii w elektrowniach ciepłych zawodowych, która wg [18] wynosi 37,5%.

$$E_P = E_{chem,pal} \cdot w_i \quad (6)$$

gdzie:

$w_i$  - współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej do budynku, -.

Współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej  $w_i$  do budynku powinien być udostępniony przez dostawcę tego nośnika energii, w innym przypadku można je odczytać z tabeli [19]. Dla systemowej sieci elektromagnetycznej współczynnik  $w_i$  wynosi 3,0.

W celu oceny doskonałości analizowanych wariantów układu pod względem ekologicznym posłużono się również wskaźnikiem jednostkowego zużycia energii pierwotnej  $e_{EP}$ . Jest to stosunek ilości zużytej energii pierwotnej potrzebnej do produkcji ciepła do rocznego zużycia ciepła w budynku, co przedstawiono wzorem (7). W tabeli 4 przedstawiono wyniki obliczeń zużycia energii pierwotnej oraz wskaźnik jednostkowego zużycia energii pierwotnej do produkcji ciepła dla każdego z analizowanych wariantów.

$$e_{EP} = \frac{E_p}{Q_r} \quad (7)$$

gdzie:

$Q_r$  – roczne zużycie ciepła,  $GJ$

Tabela 4: Wyniki analizy ekologicznej.

Wariant	Zużycie energii pierwotnej, GJ		Wskaźnik jednostkowego zużycia energii pierwotnej, GJ/GJ	
	Powietrzna pompa ciepła	Gruntowa pompa ciepła	Powietrzna pompa ciepła	Gruntowa pompa ciepła
„0”	447,59	355,80	3,53	2,80
„1”	352,24	260,45	2,78	2,05
„2”	395,55	303,76	3,12	2,39
„3”	300,20	208,42	2,37	1,64

Rozpatrując wyniki zużycia energii pierwotnej można stwierdzić, że odnawialne źródła energii pozwalają na znaczną oszczędność energii pierwotnej. Jest to niewątpliwie korzystnym zjawiskiem pod względem ekologicznym oraz idei zrównoważonego rozwoju, której głównym założeniem jest racjonalne gospodarowanie bogactwami naturalnymi. Wartości obliczonego wskaźnika jednostkowego zużycia energii pierwotnej również potwierdzają słuszność stosowania odnawialnych źródeł energii. Analizując wyniki analizy można także stwierdzić, że nakłady energii pierwotnej do produkcji ciepła w przypadku gruntowej pompy ciepła są znacznie mniejsze w porównaniu do pompy powietrznej. Interesującym faktem jest również to, że instalacja fotowoltaiczna pozwala na większą oszczędność energii niż turbina wiatrowa. Oznacza to, że w badanym rejonie panują korzystne warunki do pracy instalacji fotowoltaicznej.

### 5.3 Emisja dwutlenku węgla do otoczenia

Ubocznymi produktami spalania paliw naturalnych są gazy spalinowe, popiół i żużel. W przypadku spalania paliw stałych głównym składnikiem spalin, powstającym podczas procesu jest dwutlenek węgla. Wpływ  $CO_2$  na środowisko jest złożony, ponieważ z jednej strony jest on niezbędnym gazem w procesie fotosyntezy, a z drugiej strony jest jednym z czynników,

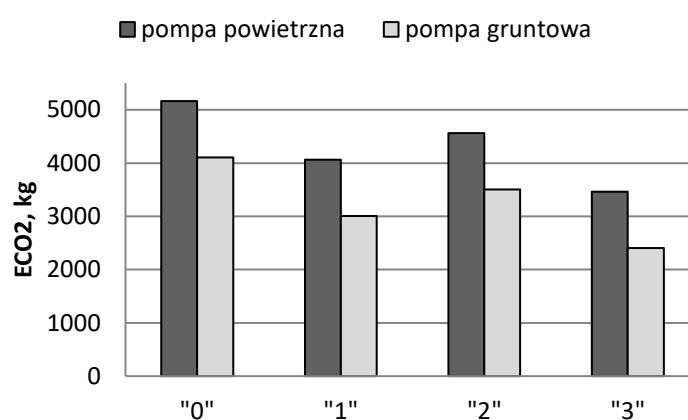
które przyczyniają się do tzw. efektu cieplarnianego. Jednak większość badaczy uważa, że rosnąca zawartość dwutlenku węgla z atmosfery może doprowadzić do katastrofalnych zmian klimatycznych [20, 21]. W celu obliczenia emisji dwutlenku węgla do otoczenia (8) uwzględnia się wartość zużytej energii elektrycznej do zasilenia urządzeń elektrycznych oraz wskaźnik emisyjności dla dwutlenku węgla, który wg [22] wynosi 810 kg/MWh.

$$E_{CO_2} = E_{el} \cdot W_e \quad (8)$$

gdzie:

$W_e$  – wskaźnik emisji CO<sub>2</sub> dla energii elektrycznej, kg/MWh.

Na rysunku 16 przedstawiono wartości emisji dwutlenku węgla dla analizowanych wariantów.



Rysunek 16. Emisja CO<sub>2</sub> w ciągu roku dla badanych wariantów

Na rysunku 16 można zauważyć, że w referencyjnym układzie, w którym energia elektryczna pobierana jest wyłącznie z sieci elektromagnetycznej, emisja dwutlenku węgla jest największa, zwłaszcza w przypadku powietrznej pompy ciepła. Porównując energię słoneczną i wiatrową można stwierdzić, że w wariantach, w których prąd wytwarzany jest w instalacji fotowoltaicznej, emisja dwutlenku węgla jest niższa niż w przypadku, w którym energia elektryczna produkowana jest w turbinie wiatrowej (wariant „2”). Oznacza to, że wykorzystanie energii słonecznej w badanym rejonie przynosi większe korzyści pod względem ekologicznym. Zastosowanie obu źródeł odnawialnej energii przynosi najlepszy efekt ekologiczny, ponieważ emisja dwutlenku węgla jest niemal dwukrotnie niższa, niż w układzie referencyjnym.

## 6 Analiza ekonomiczna

Kolejnym kryterium oceny doskonałości badanego układu jest analiza ekonomiczna. Jest to ważny wskaźnik, szczególnie z punktu widzenia właściciela domu, czyli inwestora. Niniejsza analiza ekonomiczna obejmuje oszacowanie nakładów inwestycyjnych wraz z uwzględnieniem dofinansowania w ramach programu „Prosument” [23], oszacowanie kosztów unikniętych, z uwagi na produkcję energii elektrycznej w mikroinstalacji przydomowej oraz wyznaczeniu podstawowych wskaźników ekonomicznych.

## 6.1 Wskaźniki analizy ekonomicznej

Podstawowym wskaźnikiem, który pozwala odpowiedzieć na pytanie, w jakim okresie rozpatrywana instalacja zacznie przynosić dochody, jest prosty czas zwrotu SPBT (Simply Pay Back Time) (9). Jest on definiowany jako czas potrzebny do odzyskania nakładów inwestycyjnych poniesionych na realizację przedsięwzięcia. Jest on liczony od momentu uruchomienia inwestycji, do czasu, gdy suma korzyści uzyskanych w wyniku realizacji inwestycji zrównoważy poniesione nakłady [24].

$$SPBT = \frac{I}{\Delta K_u} \quad (9)$$

gdzie:

$I$  - nakłady inwestycyjne, zł;  $\Delta K_u$  - wartość rocznych korzyści, zł.

Jest on najprostszym sposobem oceny opłacalności inwestycji, jednak nie uwzględnia on zmiany warunków gospodarczych w trakcie eksploatacji oraz innych znaczących czynników, które wpływają na wiarygodność wyników analizy. Nakłady inwestycyjne stanowią koszty zakupu oraz montażu instalacji produkujących energię elektryczną z odnawialnych źródeł energii. Natomiast wartość rocznych korzyści stanowi różnicę między energią elektryczną potrzebną do zasilenia wszystkich urządzeń elektrycznych, która bez przydomowej instalacji byłaby pobierana z sieci, a energią elektryczną produkowaną w instalacji OZE.

## 6.2 Podstawowe założenia analizy ekonomicznej

W celu obliczenia wskaźników ekonomicznych należy najpierw określić koszty związane z kupnem instalacji, dofinansowaniem układu produkującego energię elektryczną z odnawialnych źródeł energii oraz ceną energii elektrycznej. W tabeli 5 przedstawiono założenia do analizy ekonomicznej, czyli koszty poszczególnych elementów układu, cenę za kWh energii elektrycznej pobieranej z sieci oraz dofinansowanie instalacji odnawialnych źródeł energii.

Tabela 5: Założenia do analizy ekonomicznej.

Element	Wartość	Jednostka
Turbina wiatrowa	43 270,00	zł
Instalacja fotowoltaiczna	20 460,00	zł
Cena energii elektrycznej	0,67	zł/kWh
Dofinansowanie	30,00	%

Nakłady inwestycyjne instalacji fotowoltaicznej oszacowano wg [25] na podstawie kosztu jednostkowego podobnych instalacji fotowoltaicznych, natomiast koszt turbiny wiatrowej przyjęto wg [15]. Wartość ceny energii elektrycznej przyjęto na podstawie rachunków właściciela domu za energię elektryczną, a założone dofinansowanie oszacowano na podstawie warunków programu „Prosument” [23].

### 6.3 Opis analizowanych wariantów i wyniki obliczeń

W ramach analizy zbadano wartości prostego czasu zwrotu dla sześciu następujących wariantów:

- Wariant 1 - inwestycja budowy przydomowej turbiny wiatrowej;
- Wariant 2 - inwestycja budowy przydomowej turbiny wiatrowej z dofinansowaniem;
- Wariant 3 - inwestycja budowy instalacji fotowoltaicznej;
- Wariant 4 - inwestycja budowy instalacji fotowoltaicznej z dofinansowaniem;
- Wariant 5 - inwestycja budowy turbiny wiatrowej wraz z instalacją fotowoltaiczną;
- Wariant 6 - inwestycja budowy turbiny wiatrowej wraz z instalacją fotowoltaiczną z dofinansowaniem.

Wyniki analizy ekonomicznej przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6: Wyniki SPBT dla badanych wariantów.

Wariant	SPBT, lata
1	36
2	25
3	9
4	6
5	19
6	13

Na podstawie wyników analizy ekonomicznej można stwierdzić, że instalacja fotowoltaiczna jest najbardziej opłacalnym układem. Jest to spowodowane faktem, iż nakłady inwestycyjne instalacji są ponad dwukrotnie niższe, a produkcja energii elektrycznej w ciągu roku jest nieco wyższa w stosunku do turbiny wiatrowej. Analizując wyniki analizy ekonomicznej można stwierdzić, że dofinansowanie z programu „Prosument” znacznie skraca prosty czas zwrotu inwestycji, co jest pozytywną informacją z punktu widzenia inwestorów, czyli właścicieli obiektów mieszkalnych.

## 7 Podsumowanie

Przedmiotem niniejszej analizy był dom jednorodzinny o powierzchni użytkowej 207 m<sup>2</sup>, zamieszkały przez trzyosobową rodzinę i zlokalizowany w województwie Śląskim. Źródłem ciepła i ciepłej wody użytkowej była pompa ciepła, w zależności od badanego przypadku: powietrzna lub gruntowa, sprawdzono ich efektywność energetyczną w ciągu roku oraz porównano ich działanie. Oprócz tego, rozważono cztery różne warianty zasilania pomp ciepła, w pierwszym przypadku energię elektryczną pobierano z systemowej sieci elektromagnetycznej, w drugim z instalacji fotowoltaicznej, w kolejnym z turbiny wiatrowej, a w ostatnim z obu źródeł odnawialnej energii. W pracy można wyróżnić trzy podstawowe części: analizę energetyczną, analizę ekologiczną oraz analizę ekonomiczną.

Głównym narzędziem, pozwalającym ocenić całkowite zapotrzebowanie na ciepło była analiza energetyczna. Potrzeby energetyczne budynku wyznaczono w programie OZC Purmo 6.9, który

służy do wykonywania Świadectw Energetycznych i ich poszczególnych części. Obliczone zapotrzebowanie cieplne budynku stanowiło podstawę do dalszych obliczeń oraz pozwoliło na dobór mocy urządzeń grzewczych budynków. Wyniki obliczeń umożliwiły również na wskazanie przyczyny największych strat energii w budynku, którą okazała się wentylacja. W celu zmniejszenia strat ciepła powinno rozważyć się wprowadzenie do budynku wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła.

Rozpatrywanymi urządzeniami grzewczymi były dwie pompy ciepła: gruntowa i powietrzna. Celem pracy było zbadanie efektywności obu pomp oraz porównanie ich. Bardziej korzystną pompą pod względem energetycznym okazała się gruntowa pompa ciepła. Jest to spowodowane stabilną temperaturą gruntu w ciągu roku, która wraz z głębokością przyjmuje coraz wyższą wartość. Jednak z drugiej strony im głębszy odwiert tym cena gruntowej pompy ciepła będzie wyższa. W celu podjęcia decyzji o inwestycji, należałoby wykonać analizę ekonomiczną, aby obliczyć podstawowe wskaźniki, decydujące o jej opłacalności.

Ze względu na obecny stan środowiska naturalnego, kluczowym wskaźnikiem, który pozwala na stwierdzenie o doskonałości danej technologii jest analiza ekologiczna. Przeprowadzona analiza dowodzi słuszności stosowania odnawialnych źródeł energii. Wyniki obliczeń pokazują, iż korzystanie z odnawialnych źródeł energii wyraźnie zmniejsza emisję dwutlenku węgla do otoczenia oraz pozwala na znaczną oszczędność energii pierwotnej, która jest zawarta m.in. w paliwach kopalnych. Po dokonaniu analizy można stwierdzić, iż stosowanie odnawialnych źródeł energii jest zgodne z założeniami zrównoważonego rozwoju, ponieważ przyczyniają się one do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych oraz pozwalają na oszczędność nieodnawialnych źródeł energii. Analizując wyniki obliczeń można stwierdzić, że instalacja fotowoltaiczna przynosi większe korzyści pod względem ekologicznym w porównaniu do turbiny wiatrowej. Wynika to z faktu, że Śląsk należy do strefy energetycznej wiatru, która jest mało korzystna. Najlepsze warunki panują w północnej oraz środkowej części kraju. Natomiast warunki nasłonecznienia na Śląsku są stosunkowo korzystne, dlatego instalacja fotowoltaiczna jest w stanie wyprodukować zadawalającą ilość energii elektrycznej.

Analiza ekonomiczna jest szczególnie ważna dla inwestora, w tym przypadku jest to właściciel domu. Wyniki analizy ekonomicznej pozwoliły określić, która instalacja jest bardziej opłacalna. Rozważając wyniki obliczeń można stwierdzić, że najkorzystniejszą pod względem ekonomicznym jest instalacja fotowoltaiczna. Prosty czas zwrotu tej instalacji wynosi poniżej 10 lat, należy jednak pamiętać, że wyznaczony wskaźnik jest obarczony dużą niedokładnością. W celu dokładnego zbadania opłacalności inwestycji powinno się wykonać pełną analizę ekonomiczną, wraz z uwzględnieniem wartości pieniądza w czasie. Prosty czas zwrotu przydomowej turbiny wiatrowej w najlepszym wypadku, czyli z dofinansowaniem turbiny wiatrowej wynosi 25 lat, co jest bardzo długim okresem zwrotu, szczególnie ze względu na długość okresu gwarancyjnego urządzenia, który wynosi zaledwie 2 lata. Istnieje duże ryzyko, że instalacja nie będzie w stanie pracować tak długi czas.

Przedstawiona analiza wykazała, iż należy poszukiwać nowych, zrównoważonych metod zaspakajania potrzeb energetycznych budynków, ponieważ mają one swój istotny udział w zanieczyszczeniu środowiska naturalnego. Niniejsza praca potwierdziła, iż istnieje duży potencjał

poprawy środowiska, za pomocą wdrożenia nowoczesnych systemów grzewczych oraz przydomowych instalacji, wykorzystujących odnawialne źródła energii. Jest to ważne nie tylko ze względu na dotrzymanie głównych celów Polityki UE do 2030 roku, ale także ma znaczenie o charakterze globalnym, ponieważ należy racjonalnie korzystać z dóbr natury, pamiętając o przyszłych pokoleniach.

## Literatura

- [1] <http://stat.gov.pl/zrownowazony-rozwoj/idea-zrownowazonego-rozwoju/> data dostępu: 12.11.2017 r.
- [2] GUS, Zużycie paliw i nośników energii w 2015 r., Warszawa, 2016
- [3] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady, Efektywność energetyczna i jej wkład w bezpieczeństwo energetyczne a ramy polityczne dotyczące klimatu i energii do roku 2030, Bruksela, 2014
- [4] PN-EN 12831:2006. Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego
- [5] E. Klugmann-Radziemska, Odnawialne źródła energii przykłady obliczeniowe, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańska, 2011, str. 59-68
- [6] [http://mib.gov.pl/2-Wskazniki\\_emisji\\_wartosci\\_opalowe\\_paliwa.htm](http://mib.gov.pl/2-Wskazniki_emisji_wartosci_opalowe_paliwa.htm)
- [7] W. L. Lewandowski, Proekologiczne odnawialne źródła energii, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001, str. 285-303
- [8] <https://www.viessmann.pl/pl/budynki-mieszkalne/pompy-ciepla/pompy-ciepla-powietrzewoda-w-wersji-split/vitocal-200-s.html>, data dostępu: 2.10.2017 r.
- [9] <https://www.viessmann.pl/pl/budynki-mieszkalne/pompy-ciepla/pompy-ciepla-solankawoda/vitocal-300-g.html>, data dostępu: 2.10.2017 r.
- [10] Energia ze źródeł odnawialnych w 2015 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2016
- [11] J. Szargut, A. Ziębk, Podstawy energetyki cieplnej, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2000, str. 473-477
- [12] <http://ioze.pl/energetyka-sloneczna/sprawnosc-ogniw-fotowoltaicznych>, data dostępu: 19.11.2017 r.
- [13] Karta katalogowa modułów SV60P, <http://www.selfa-pv.com>, data dostępu: 3.10.2017 r.
- [14] W. L. Lewandowski, Proekologiczne odnawialne źródła energii, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001, str. 113-144
- [15] <https://virtech.pl/elektrownie-wiatrowe/turbiny-z-pionowa-osia/turbina-wiatrowa-tvk-3-48>
- [16] J. Szargut, Termodynamika Techniczna, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2011, str. 44-70
- [17] <https://stat.gov.pl/metainformacje/slownik-pojec/pojecia-stosowane-w-statystyce-publicznej/470,pojecie.html>, data dostępu: 19.11.2017 r.

- [18] GUS, Gospodarka Paliwowo-Energetyczna w latach 2015 i 2016, Warszawa 2017
- [19] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 czerwca 2014 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw charakterystyki energetycznej, Dz. U. z dnia 2 lipca 2014 r.
- [20] W. L. Lewandowski, Proekologiczne odnawialne źródła energii, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001, str. 21-65
- [21] J. Szargut, A. Ziębik, Podstawy energetyki cieplnej, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2000, str. 66-68
- [22] Wskaźniki emisyjności CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO i TPS dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2015 rok, KOBiZE, luty, 2017
- [23] <https://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/prosument-dofinansowanie-mikroinstalacji-oze/informacje-o-programie/>, data dostępu: 16.10.2017 r.
- [24] A. Szkarowski, L. Łatowski, Ciepłownictwo, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2006, str. 287-288
- [25] Rynek Fotowoltaiki w Polsce, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa, Maj 2017 [http://www.cire.pl/pliki/2/2017/raportpv\\_2017\\_final\\_18\\_05\\_2017.pdf](http://www.cire.pl/pliki/2/2017/raportpv_2017_final_18_05_2017.pdf)



# **Energy, ecological and economic analysis of cooperation of renewable energy sources with a heat pump**

Paulina Wienchol

**Key words:** renewable energy sources, building heat demand, ground heat pump, air heat pump, sustainable development

## **Abstract**

Within the framework of the EU Policy until 2030, three main objectives are pursued, which are related to reducing greenhouse gas emissions, increasing the share of renewable energy sources and energy efficiency. The implementation of the plan is associated with making the necessary investments in the municipal and living sector. This is caused by a significant amount of pollutant emissions that originate from local boilers and hearths. The purpose of this work is energy analysis of cooperation of renewable energy sources with a heat pump, on the example of a selected single-family house, located in the Silesian. During the analysis, two cases were examined, in the first building it is heated only with a ground heat pump, and in the second one it is air-heated. Then the operation of both pumps was compared in terms of energy efficiency. In the ecological analysis, the effect of using alternative energy sources to power the heat pump was checked and household appliances for the condition of the natural environment. The analyzed sources of renewable energy are solar and wind energy. Based on their basic characteristics and real environmental data, regarding solar radiation, wind speed and ambient temperature, the amount of energy produced in the installations was calculated. Then, an economic analysis was carried out, in which the simple payback time of the discussed investments was calculated. The obtained results will allow to determine which heating device works more efficiently and what source of renewable energy will bring greater benefits in terms of energy, ecology and economy.