

**ORYNA SŁOBODZIAN-KSENICZ*, MARZENA JASIEWICZ*,
MARZENA NADOLNA*, DANIEL SZARSZEWSKI***

ANALIZA OPŁACALNOŚCI WYKORZYSTANIA ENERGII SŁOŃCA I WIATRU DLA BUDYNKU JEDNORODZINNEGO

Streszczenie

Porównano aktualne koszty projektu wykorzystania energii wiatru i słońca z zasilaniem tradycyjnym oraz oszacowano opłacalność inwestycji. Najbardziej opłacalną inwestycją jest elektrownia wiatrowa ale nie gwarantuje stałych dostaw energii w roku, dlatego zaproponowano hybrydową i jest to inwestycja opłacalna.

Słowa kluczowe: budynek jednorodzinny, energia słońca, energia wiatru, opłacalność

WSTĘP

Wzrost zapotrzebowania na energię spowodowany szybkim rozwojem gospodarczym, ograniczona ilość zasobów kopalnych oraz nadmierne zanieczyszczenie i skażenie środowiska naturalnego spowodowały bardzo duże zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii (OZE). „Biała Księga Unii Europejskiej” z 1998 roku i ustanowione dyrektywy zalecają zwiększenie udziału energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii oraz ograniczenie emisji dwutlenku węgla [OliDE 2014; Różycka 2009]. W Dyrektywie 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 IV 2006 w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych nakreślono program 3x20%, który zakłada konieczność ograniczenia emisji dwutlenku węgla do 2020 roku o 20% w stosunku do emisji z 1990 roku, poprawę efektywności energetycznej w tym samym zakresie tj. o 20% oraz zwiększenie udziału energii produkowanej z OZE do 20%

* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska, Zakład Sieci i Instalacji Sanitarnych

całkowitego zużycia energii [Zimny 2010]. W Polsce ponad 90% energii dostarczane jest z nośników konwencjonalnych: dominuje węgiel kamienny i brunatny 76%, ropa naftowa 13% i gaz ziemny 9%. Ponieważ eksploatacja tradycyjnych nośników energii pociąga za sobą negatywne skutki, np. dziurę ozonową, efekt cieplarniany, zaburzenia równowagi życia biologicznego, zanieczyszczenie gleby i powietrza itp. [Zimny 2010], dlatego wykorzystanie najnowszych technologii OZE stało się jednym z priorytetów rozwojowych wielu krajów świata. W Polsce odnawialne źródła energii zaspokajają około 4,2% (głównie: biomasa 2%, wiatr 1,4%, hydroenergetyka 0,6%), zapotrzebowania na energię [BP Statistical World Energy Review 2014]. Najintensywniej wykorzystywanym odnawialnym źródłem energii jest energia grawitacyjna wody. W 2013 roku odpowiadała ona za 71% energii z odnawialnych źródeł. Kolejne źródła to energia wiatru (12%), biomasa i biopaliwa (7,7%), energia słoneczna (2,4%) [BP Statistical World Energy Review 2014] oraz energia geotermalna (1,4%). W najbliższej przyszłości największe zapotrzebowanie na energię pierwotną będzie w sektorze gospodarstw domowych. Dlatego rozwój technologii OZE podąża w kierunku jak największej samowystarczalności energetycznej indywidualnych budynków mieszkalnych. Obecne trendy wskazują, że do 2020 roku energia wiatru i słoneczna będą produkowały podobną ilość energii co hydroenergetyka, a udział energii odnawialnej przekroczy 20%. Energia promieniowania słonecznego jest podstawowym źródłem energii na Ziemi. Główną barierą w wykorzystaniu istniejącego potencjału promieniowania słonecznego jest bariera ekonomiczna. Zasadniczym elementem mającym wpływ na efektywność ekonomiczną inwestycji w te instalacje, oprócz konieczności zaangażowania dużych środków finansowych, jest bardzo krótki, roczny czas wykorzystania zainstalowanej mocy [Michałowska-Knap, Wiśniewski 2008; Wcisło 2011].

Energia wiatru jest energią poruszających się mas powietrza w atmosferze ziemskiej. Globalny potencjał energetyczny wiatru jest ogromny i według szacunków jest równy aktualnemu światowemu zapotrzebowaniu na energię elektryczną. Głównymi barierami w rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce to: ograniczona dostępność terenu pod zabudowę farm wiatrowych, szczególnie w miejscach o korzystnych warunkach wiatrowych, wysoki koszt inwestycyjny, oraz dość długi czas oczekiwania na dostawę urządzeń [Zimny 2010].

Polskie budownictwo jest energochłonne, niedostosowane technicznie do wznrastających cen energii, drogie w eksploatacji, często zagrażające zdrowiu mieszkańców i niedopasowane do współczesnego standardu życia. Zużycie energii w budownictwie może być znacznie zredukowane poprzez zabiegi termomodernizacyjne oraz zastosowanie nowoczesnych technologii w budownictwie. Najważniejsze w tej sytuacji staje się skoncentrowanie wysiłków na racjonalnym wykorzystaniu energii do celów grzewczych, oświetleniowych, wentylacyjnych i chłodniczych przy użyciu energii zasobów odnawialnych. Instrumentem zachę-

cającym do inwestowania w OZE są m.in. wprowadzone w Polsce zielone certyfikaty, które są prawem majątkowy i można nimi dowolnie handlować, a dystrybutorzy energii chętnie je kupują [Widłak 2014]. Obrót prawami majątkowymi do zielonych certyfikatów umożliwia wytwórcom energii z OZE pozyskanie dodatkowych przychodów pod warunkiem prowadzenia przez nich działalności gospodarczej (Dz.U. z 2008 r. Nr 156, poz. 969).

W pracy podjęto próbę porównania aktualnych kosztów realizacji projektu wykorzystania energii wiatru i słońca z kosztami budynku zasilanego tradycyjnie oraz oszacowania i przybliżenia opłacalności inwestycji w samowystarczalny energetycznie budynek mieszkalny.

METODOLOGIA

Analizę opłacalności wykonano dla domu jednorodzinnego znajdującego się w gminie Krosno Odrzańskie. Jest to strefa, w której suma promieniowania wynosi około $1000 \text{ kWh} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{rok})^{-1}$ [Zawadzki 2003], jest to też obszar o dość korzystnych warunkach wietrzności [Klugmann-Radziemska 2006; Radziejewicz 2008; Synowski 2010].

Zapotrzebowanie energetyczne budynku zostało określone na podstawie średniego rocznego zużycia energii. Zainstalowane mierniki energii elektrycznej pozwoliły na odczyt ilościowy zużytej energii (oświetlenie, ogrzewanie, przygotowanie posiłków).

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- średnie roczne zużycie energii elektrycznej - 4617 [kW];
- cena brutto za 1 kW - 0,5168 zł/kW
[<http://zaklad.energetyczny.w.interia.pl/>];
- roczny koszt zużycia energii elektrycznej brutto - 2683,19 zł.

Elektrownia słoneczna - koszt inwestycji - 87 098,76 zł - związany z zakupem kompletnego zestawu elektrowni, gotowego do podłączenia do sieci elektrycznej obiektu (230 V). Energia uzyskana z przydomowej elektrowni słonecznej będzie wykorzystywana na pokrycie zapotrzebowania na energię całego domu.

Zakładając, że wydajność paneli będzie równa 15% to system o powierzchni 30,66 m² pokryje zapotrzebowanie na energię.

W skład zestawu wchodzi:

- moduły fotowoltaiczne IBC Solar PolySol 235 o powierzchni 1,63 m² i wydajności 14,4% - 21 sztuk,
- falownik Sunny Boy SMA 5000TL+NR przetwarzający napięcie stałe na napięcie zmienne 230 V,
- falownik wysypowy SMA Sunny Island 5048,
- akumulatory Toyama NPC 100 12V 105Ah Deep Cycle 16 sztuk.

Elektrownia wiatrowa - koszt inwestycji 27 433 zł - związany z zakupem kompletnego zestawu elektrowni wiatrowej. Zakładając, że będzie ona pracowała z mocą nominalną przez 20% dni w ciągu całego roku to do wyprodukowania ilości energii, która pokryje zapotrzebowanie energetyczne budynku powinna posiadać moc nominalną 2,6 kW.

W skład zestawu wchodzi:

- generator wiatrowy, 3 śmigła, kontroler hybrydowy, inwerter, skrzynka bezpieczeństwa, wieża, akumulatory 12V65AH 20 szt.

Tab. 1. Dane techniczne i parametry pracy elektrowni o mocy znamionowej 3 kW
[<http://www.sol2.pl/elektrownia-wiatrowa-3kw-kpl-p-165.html>]

Moc znamionowa	3kW
Znamionowa prędkość wiatru	10 m/s
Startowa prędkość wiatru	3 m/s
Graniczna prędkość wiatru	25 m/s
Średni czas pracy	20 lat
Temperatura pracy	-30C---+40C
Ilość łap śmigła	3
Średnica wirnika	4,5 m
Znamionowa ilość obrotów	220 obr/min
Materiał łopaty śmigła	Włókno szklane
Odchylenie od kierunku wiatru	Automatyczne
Typ generatora	Magnetyczny trójfazowy
Napięcie znamionowe	240V
Poziom izolacji	IP54
System chłodzenia	Wymuszony powietrzem
Wysokość wieży	12 m
Ilość akumulatorów	20 szt.

Aby oszacować opłacalność inwestycji w samowystarczalny energetycznie budynek mieszkalny obliczono okres zwrotu dla elektrowni słonecznej, wiatrowej i wiatrowo-słonecznej. W obliczeniach uwzględniono nierównomierność rozkładu promieniowania słonecznego i prędkości wiatru w skali roku. Rozkład natężenia promieniowania słonecznego i prędkości wiatru w skali roku obejmuje wartości z wielolecia, najczęściej jest to trzydziestolecie.

WYNIKI OBLICZEŃ I ICH ANALIZA

Podejmowanie efektywnych decyzji w zakresie akceptacji lub rezygnacji z przedsięwzięcia inwestycyjnego jest bardzo ważnym elementem cyklu planowania. Jednym ze wskaźników opłacalności jest długość czasu zwrotu zamrożonego kapitału. Aby określić czas zwrotu inwestycji tj. czas, po jakim poniesiony nakład inwestycyjny zwróci się w postaci oszczędności, należy znać dwie wartości: nakład inwestycyjny oraz roczną oszczędność finansową. W obliczeniach nie uwzględniono kosztów utrzymania instalacji. W tabelach 2-4 zestawiono wyniki obliczeń dotyczących kosztów inwestycji instalacji elektrowni słonecznej, wiatrowej i wiatrowo - słonecznej, roczne kwoty przychodów oraz obliczony prosty czas zwrotu inwestycji SPBT (prosty czas zwrotu wyraża się stosunkiem poniesionych kosztów inwestycyjnych wyrażonych w zł do wartości rocznych korzyści, zł/rok np: wartość zaoszczędzonej energii).

Tab. 2. Okres zwrotu inwestycji elektrowni słonecznej

Koszt inwestycji	87 098,76 zł
Przychód z zaoszczędzonej energii elektrycznej	2683,19 zł
Okres zwrotu inwestycji	32,46 lat

Zródło: Obliczenia własne

Nakłady inwestycyjne przeznaczone na zakup kompletnego zestawu elektrowni słonecznej (tab. 2), gotowego do podłączenia do sieci elektrycznej to kwota w wysokości ok. 87098,76 zł. Szacowane roczne oszczędności finansowe są rzędu 2683,19 zł i wynikają z przychodów z zaoszczędzonej energii elektrycznej. Czas zwrotu inwestycji obliczony dla elektrowni słonecznej jest bardzo długi, przekroczył bowiem 32 lata. Jak podaje Różycka [Różycka 2009] inwestycja jest opłacalna, gdy czas ten nie będzie dłuższy niż 15 lat.

Tab. 3 Okres zwrotu inwestycji elektrowni wiatrowej

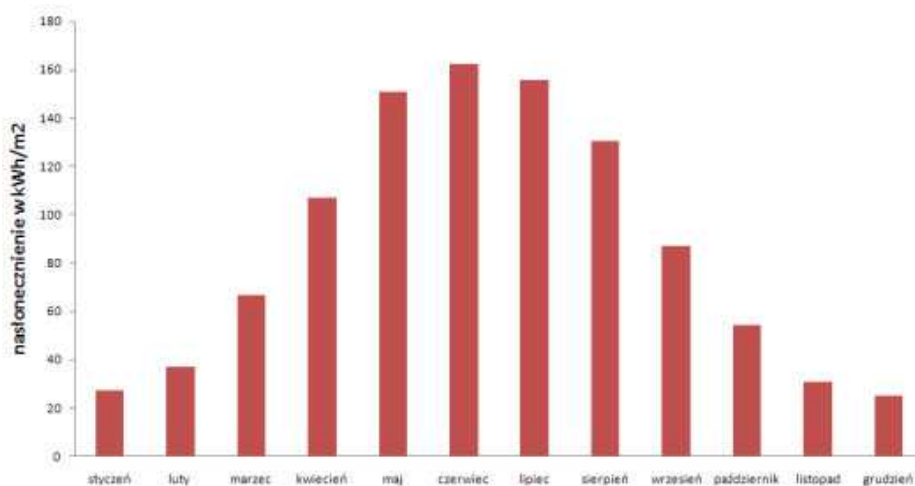
Koszt inwestycji (kompletna elektrownia wiatrowa 3 W)	27 433 zł
Przychód z zaoszczędzonej energii elektrycznej	2 683,19 zł
Okres zwrotu inwestycji	10,22 lat

Zródło: Obliczenia własne

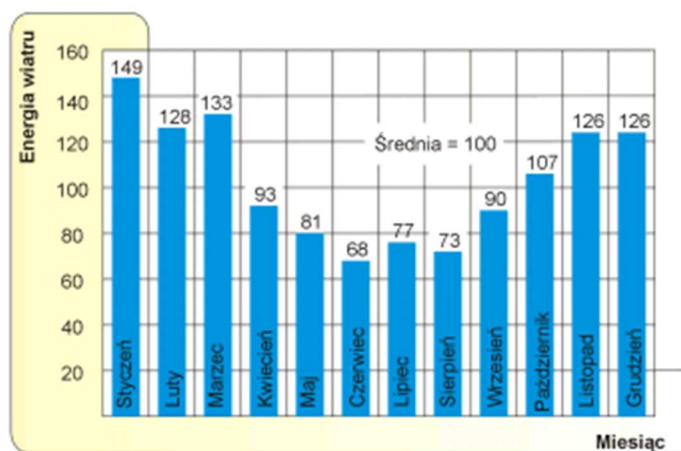
Nakłady inwestycyjne na przydomową elektrownię wiatrową (tab. 3) nie wymagają tak wysokich sum jak w przypadku elektrowni słonecznej. Zakup kompletnej elektrowni wiatrowej to kwota ok. 27433 zł. Szacowany dochód z zaoszczędzonej energii elektrycznej w skali roku wyniósł 2683,19 zł. Proponowana elektrownia wiatrowa jest korzystną ofertą gdyż obliczony czas zwrotu inwestycji jest krótki, w niewielkim stopniu przekracza 10 lat.

Analiza wieloletnich danych meteorologicznych (rys 1 i 2), pokazała, że w porze największego nasilenia wiatrów (okres jesienno-zimowy dla półkuli północnej) promieniowanie słoneczne jest słabe. Natomiast w porze wiosenno-letniej, kiedy natężenie promieniowania słonecznego jest najsilniejsze, maleje średnia

prędkość wiatru. W celu oszacowania opłacalności inwestycji elektrowni wiatrowo-słonecznej (tab. 4) zestawiono koszty całej inwestycji i przychody wynikające z oszczędności energii. Oferowana elektrownia wiatrowo-słoneczna jest dobrą alternatywą do wiatrowej i słonecznej, szacowany okres zwrotu poniesionych nakładów nie przekracza 15 lat i zapewnia względnie stały dopływ prądu w ciągu całego roku.



Rys. 1. Roczny rozkład energii słońca [http://www.zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=130]



Rys. 2. Roczny rozkład energii wiatru [<http://www.elektrownie-tanio.net/energia.html>]

Tab. 4. Okres zwrotu inwestycji elektrowni wiatrowo-słonecznej

Koszt inwestycji	39 225,00 zł
Przychód z zaoszczędzonej energii elektrycznej	2 683,19 zł
Okres zwrotu inwestycji	14,61 lat

Źródło: Obliczenia własne

Z powyższych rozważań wynika, że najbardziej opłacalną inwestycją dla domu jednorodzinnego pod kątem zastosowania instalacji wykorzystującej OZE jako źródła energii jest elektrownia wiatrowa. Biorąc jednak pod uwagę warunki wietrzności charakteryzujące się zmiennością przestrzenną i czasową w skali roku (rys. 2) jest to inwestycja, która nie gwarantuje stałych dostaw energii.

Wydaje się zatem, że połączenie ze sobą energii słonecznej i wiatrowej daje, w pewnym przybliżeniu, potencjalnie wydajne źródło energii w ciągu roku. Oba źródła mogą się wzajemnie uzupełniać, zapewniając względną ciągłość dostaw energii elektrycznej odbiorcy.

W celu określenia, która z analizowanych instalacji do wykorzystania OZE jest najbardziej korzystnym rozwiązaniem, nie tylko pod kątem czasu zwrotu inwestycji, przeprowadzono dodatkowo rozważania wg zasad analizy logistycznej. Wynikające z analizy wnioski (tab. 5) podzielono na wady i zalety.

Tab. 5 Porównanie przydomowych elektrowni wiatrowej, słonecznej i wiatrowo-słonecznej

Wiatrowa	Słoneczna	Wiatrowo-słoneczna
Zalety		
<ul style="list-style-type: none"> - niskie koszty inwestycji w porównaniu do elektrowni słonecznej - korzystne warunki atmosferyczne według mapy wietrzności - całkowita niezależność od sieci elektroenergetycznej - niezawodne i niezależne źródło energii do zasilania wszystkich odbiorników - możliwość korzystania z urządzeń elektrycznych w miejscach, gdzie nie ma dostępu do sieci elektroenergetycznej - obniżenie kosztów za energię elektryczną lub ich wyeliminowanie 	<ul style="list-style-type: none"> - całkowita niezależność od sieci elektroenergetycznej - niezawodne i niezależne źródło energii do zasilania wszystkich odbiorników - możliwość korzystania z urządzeń elektrycznych w miejscach, gdzie nie ma dostępu do sieci elektroenergetycznej - obniżenie kosztów za energię elektryczną lub ich wyeliminowanie - korzyści ekologiczne - panele nie zanieczyszczają środowiska 	<ul style="list-style-type: none"> - ciągłość dostaw energii oba źródła wzajemnie się uzupełniają - mniejsze zapotrzebowanie na akumulatory niż w przypadku pozostałych dwóch wariantów - całkowita niezależność od sieci elektroenergetycznej - niezawodne i niezależne źródło energii do zasilania wszystkich odbiorników - możliwość korzystania z urządzeń elektrycznych w miejscach, gdzie nie ma dostępu do sieci elektroenergetycznej

- korzyści ekologiczne - turbiny nie zanieczyszczają środowiska		- obniżenie kosztów za energię elektryczną lub ich wyeliminowanie - korzyści ekologiczne - panele nie zanieczyszczają środowiska
---	--	---

Wady		
- okresowość produkcji energii - wymagana duża ilość akumulatorów	- wysokie koszty inwestycji ponad 80 tys. zł - bardzo długi okres zwrotu ponad 20 lat - rozpatrywany obszar znajduje się w jednym z najmniejkorzystniejszych rejonów polski dla tego typu inwestycji - ogniwa fotowoltaiczne zajmują dużą powierzchnie ponad 30 m ²	- wysokie koszty inwestycji - ponad 39000 zł.

Ilość zestawionych argumentów „za” i „przeciw” wskazuje, że najkorzystniejsza spośród rozpatrywanych przydomowych elektrowni dla rejonu Krosna Odżańskiego jest elektrownia wiatrowa. Jednakże ze względu na to, że strefy wietrzności mają układ równoleżnikowy a położenie geograficzne sprawia, że średnia siła wiatru jest bardzo zróżnicowana i zależna od pory roku potencjał energetyczny wiatru wzrasta w miesiącach chłodnych, a latem - maleje a więc elektrownia ta nie zapewni stałych dostaw energii. Dlatego analizie poddano też elektrownię hybrydową - wiatrowo-słoneczną jako dobrą alternatywą do wiatrowej i słonecznej gdyż jak wspomniano wcześniej zapewnia ona stały, równomierny dopływ prądu. Oszacowany okres zwrotu poniesionych nakładów nie przekracza 15 lat, jest więc to inwestycja opłacalna gdyż czas zwrotu poniesionych nakładów inwestycyjnych „zwróci” się w okresie nie dłuższym niż 15 lat [Różycka 2009].

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Obserwując szybki rozwój energetyki rozproszonej można stwierdzić, że systemy elektroenergetyczne będą ewoluowały do postaci bardziej dostępnych i tańszych. Budowa przydomowej elektrowni, bazującej na odnawialnych źródłach energii, pozwoli obniżyć koszty za energię elektryczną lub całkowicie je wyeliminować. Niebagatelne znaczenie ma rola tego typu układów w zakresie ochrony środowiska, gdyż rozpatrywane źródła nie emitują żadnych zanieczyszczeń do

środowiska naturalnego. Z analizy opłacalności przeprowadzonej dla elektrowni wiatrowej i słonecznej wynika, że najbardziej opłacalną inwestycją dla domu jednorodzinnego jest elektrownia wiatrowa. Jednakże uwzględniając warunki wietrzności, które charakteryzują się dość dużą zmiennością przestrzenną i czasową w skali roku jest to inwestycja, która nie gwarantuje stałych dostaw energii.

Wydaje się więc, że połączenie sposobów pozyskiwania energii słonecznej i wiatrowej daje, w pewnym przybliżeniu, potencjalnie wydajne źródło energii w ciągu roku. Oba źródła mogą się wzajemnie uzupełniać, zapewniając względną ciągłość dostaw energii elektrycznej odbiorcy.

Przeprowadzona analiza opłacalności potwierdziła powszechnie uznawany pogląd, że inwestycje w odnawialne źródła energii zwracają się w ciągu kilku, kilkunastu czy nawet kilkudziesięciu lat, w zależności od wykorzystywanej instalacji. Z tego też powodu większość inwestorów nie byłaby zainteresowana tak długą stopą zwrotu poniesionego nakładu. Świadomość, że energia z odnawialnych źródeł jest przyszłością świata, oraz, że należy chronić środowisko naturalne wymusza na rządach państw działania, które wspierają inicjatywy związane z pozyskiwaniem energii z OZE. W Polsce funkcjonuje system zielonych certyfikatów, stanowią one przedmiot obrotu na Towarowej Giełdzie Energii, którą kontroluje Komisja Nadzoru Finansowego.

System ten ma jednak kilka mankamentów, na które wskazują inwestorzy, dystrybutorzy i producenci. Wątpliwości i problemy ma rozwiązać oczekiwana ustawa o odnawialnych źródłach energii. Ministerstwo Gospodarki planuje, że wejdzie ona na początku roku 2015. W jej projekcie jest zapis mówiący o odejściu od wspierania kwotowego na rzecz gwarancyjnego. Oznacza to, że zamiast dotowanych certyfikatów na giełdzie, których cena jest zmienna, inwestor otrzyma 15-letnią gwarancję na sprzedaż wyprodukowanej energii po z góry ustalonej cenie [Widłak 2014].

LITERATURA

1. BP Statistical World Energy Review [online] 2014.
2. KLUGMANN-RADZIEMSKA E.: *Odnawialne źródła energii - przykłady obliczeniowe*. Wyd. Politechniki Gdańskiej 2006.
3. MICHAŁOWSKA-KNAP K., WIŚNIEWSKI G.: *Stan obecny i potencjał energetyki odnawialnej w Polsce*. Prace PIGWO 2008
4. WCISŁO K.: *Fotowoltaika w Polsce i Europie „Energia dla przemysłu”* Nr 2, 2011.
5. *Ośrodek Informacji i Dokumentacji Europejskiej*. Białe i zielone księgi [online] 20014.
6. RADZIEWICZ W.: *Produkcja energii elektrycznej w elektrowni wiatrowej w zależności od potencjału wiatru na różnych wysokościach* [online] 2008.

7. RÓŻYCKA E.: *Analiza opłacalności zastosowania niekonwencjonalnych źródeł energii w projektowanym budynku jednorodzinnym. Kolektory słoneczne, pompy ciepła* [online] 2009.
8. SYNOWSKI R.: *Pomiary wiatru*, „Akademia Wiatru” [online] 2010.
9. WIDŁAK R.: *Zielone certyfikaty* [online] 2014.
10. ZAWADZKI M.: *Kolektory słoneczne - pompy ciepła na tak*. Wyd. Polska Ekologia 2003.
11. ZIMNY J.: *Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym* 2010.
12. Dz.U. z 2008 r. Nr 156, poz. 969.
13. <http://www.elektrownie-tanio.net/energia.html>.
14. http://www.zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=130.
15. <http://www.sol2.pl/elektrownia-wiatrowa-3kw-kpl-p-165.html>.
16. <http://zaklad.energetyczny.w.interia.pl/>.

THE ANALYSIS OF THE ECONOMIC VIABILITY OF WIND AND SOLAR ENERGY USE FOR A DETACHED FAMILY HOUSE

S u m m a r y

The current project costs of wind and solar energy use have been compared with traditional power sources and the economic viability of the investment has been estimated. The most economically viable investment is a wind power plant but it does not guarantee a continuous energy supply throughout the year. Therefore a hybrid plant has been proposed as an investment economically viable.

Key words: single-family building, sun energy, wind energy, cost-effectiveness