

Paweł ŚWISŁOWSKI¹, Luiza DĘBSKA¹, Małgorzata RAJFUR²
i Tadeusz RODZIEWICZ²

ROCZNA WYDAJNOŚĆ INSTALACJI PV ZAMONTOWANEJ NA DACHU BUDYNKU DYDAKTYCZNEGO UNIwersYTETU OPOLSKIEGO

ANNUAL EFFICIENCY OF A PV INSTALLATION MOUNTED ON THE ROOF OF THE UNIVERSITY OF OPOLE DIDACTIC BUILDING

Abstrakt: Celem badań była analiza i ocena sprawności pracy instalacji fotowoltaicznej zamontowanej na dachu budynku dydaktycznego Uniwersytetu Opolskiego mieszczącego się przy ul. Kominka 6 w Opolu. Zakres pracy obejmował ocenę: energetyczną - uzysku energetycznego (ilość wyprodukowanego prądu a położenie geograficzne paneli fotowoltaicznych) i ekologiczną - redukcja emisji szkodliwych substancji niewyemitowanych do aerozolu atmosferycznego z powodu produkcji prądu przez instalację PV, a niedostarczonej przez elektrownię opalaną węglem. Badania wykazały dobry wynik uzysku energetycznego w ciągu roku - 5,30 MWh energii z tego systemu oraz znaczną redukcję emisji CO₂ do atmosfery - 4,27 Mg/rok, co potwierdza ekologiczny charakter instalacji fotowoltaicznych.

Słowa kluczowe: alternatywne źródła energii, fotowoltaika (PV), moduł fotowoltaiczny, uzysk energetyczny, ekologia

Wprowadzenie

Odnawialne źródła energii (OZE) powinny być stosowane w coraz większym stopniu, ponieważ ich wykorzystanie przyczynia się do redukcji m.in. ditlenku węgla, a także innych szkodliwych gazów cieplarnianych. Szeroki zakres ich zastosowania wymaga jednak zidentyfikowania wszelkich barier, które uniemożliwiają szerokie wykorzystanie źródeł odnawialnych [1]. Jedną z głównych przyczyn ich zahamowanego rozwoju jest opór społeczny wobec nowych, nieznanych opinii publicznej technologiom. Niemniej jednak, sprzeciw ten jest coraz mniejszy ze względu na to, iż społeczeństwo dostrzega ekonomiczne, środowiskowe i energetyczne korzyści wynikające z zastąpienia paliw kopalnych źródłami odnawialnymi [2]. Za wykorzystaniem OZE przemawiają także inne czynniki. Badania przeprowadzone w różnych krajach świata dowodzą, iż sektor ten ma niezwykle pozytywny wpływ na rozwój gospodarki państwa [3]. Inną zaletą stosowania OZE jest ich ekologia - emisja gazów cieplarnianych (GHG) powstających podczas wytwarzania energii elektrycznej jest niższa z technologii OZE w porównaniu do metod konwencjonalnych [4]. Przewiduje się, że w przyszłości stosowanie źródeł odnawialnych może mieć większy wpływ na redukcję emisji CO₂ niż energetyka jądrowa [5] i mogą pozytywnie wpływać na ogólną równowagę termoeologiczną systemu elektroenergetycznego [6]. Potencjał wykorzystania OZE jest ogromny - mogą one sprostać wymaganiom elektrycznym świata, nie obciążając przy tym środowiska naturalnego

¹ Samodzielna Katedra Inżynierii Procesowej, Uniwersytet Opolski, ul. R. Dmowskiego 7-9, 45-365 Opole, tel. 77 401 67 00

² Samodzielna Katedra Biotechnologii i Biologii Molekularnej, Uniwersytet Opolski, ul. kard. B. Kominka 6, 45-032 Opole, tel. 77 401 60 42, e-mail: mrajfur@o2.pl

Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 17, Polanica-Zdrój, 4-7.10.2017

nadmierną emisją szkodliwych substancji [7, 8]. Niemniej jednak, przy znacznej, światowej produkcji energii (w tym także z OZE) pojawia się problem nadwyżki produkcji i trudności jej magazynowania - trwają prace nad optymalizacją pracy systemów energetycznych dla zbilansowania produkcji i wykorzystania wyprodukowanej energii z magazynów [9, 10].

W Polsce udział OZE w ogólnym bilansie produkcji energii również jest zauważalny. Świadczą o tym np. dobre warunki pogodowe dla energetyki wiatrowej i, co za tym idzie, kilkadziesiąt farm wiatrowych zlokalizowanych głównie na północy kraju [11]. Pomimo wielu barier prawno-społecznych, udział źródeł odnawialnych w Polsce będzie się zwiększał nie tylko ze względu na prawodawstwo wspólnotowe Unii Europejskiej w tym zakresie, ale również dlatego, że państwo polskie jest postrzegane przez inwestorów jako kraj o dużym potencjale do rozwoju OZE [12].

Na szczególną uwagę zasługuje energia słoneczna. Fotowoltaika (ang. *photovoltaics*, PV) ma największy potencjał do produkcji energii dla domów jedno- i wielorodzinnych oraz do wytwarzania prądu w przemyśle [13]. Przykładem może być Szwajcaria, która planuje wycofać się z dalszego rozwoju energetyki nuklearnej na rzecz m.in. fotowoltaiki [14]. Pomimo silnego rozwoju tego sektora, boryka się on jeszcze z kilkoma barierami, które uniemożliwiają jego jeszcze szersze zastosowanie, są to głównie problemy natury: socjotechnicznej, zarządzania, gospodarczej czy politycznej [15]. Jednak dzięki odpowiedniemu kształtowaniu i wsparciu polityki OZE można osiągnąć zarówno zyski ekologiczne (ochrona środowiska), jak i ekonomiczne [16].

Należy jednak pamiętać, że zakres stosowania instalacji OZE - ogniw fotowoltaicznych nie zależy tylko i wyłącznie od polityki danego państwa czy czynników środowiskowo-społecznych. Opłacalność takich systemów zależy głównie od lokalnych uwarunkowań słonecznych oraz innych parametrów, które mają zasadniczy wpływ na efektywność pracy takich urządzeń [17-19].

Celem przeprowadzonych badań była analiza i ocena rocznej (2017 r.) wydajności instalacji PV zamontowanej na dachu budynku dydaktycznego Uniwersytetu Opolskiego pod względem energetycznym oraz ekologicznym.

Materiały i metody

Zastosowanie systemu paneli fotowoltaicznych miało na celu zmniejszenie zużycia energii elektrycznej przez budynek dydaktyczny UO zlokalizowany przy ul. kard. B. Kominka 6 w Opolu. Podczas projektowania instalacji PV należy wziąć pod uwagę potencjalne zacienienie. Zacienienie zmniejsza nasłonecznienie, co prowadzi do redukcji wydajności instalacji, a nawet może spowodować zanik mocy panelu [20]. Zacienienie w tej lokalizacji nie występuje, pomimo iż inwestycja zlokalizowana jest w środowisku miejskim. Instalacja PV znajduje na płaskim dachu od południa (rys. 1).

Umiejscowienie: Opole - 53,60° N 19,32° E

Wysokość: 115,08 m n.p.m.

Nachylenie paneli pod system mocujący: 45°, azymut 0°.

System PV o łącznej mocy 5,40 kWp to 18 hybrydowych kolektorów typu PVT (ang. *Photovoltaic Thermal*) o mocy 300 Wp każdy. Kolektor PVT to hybryda - połączenie płaskiego kolektora i panelu fotowoltaicznego o polikrystalicznej budowie. Kolektor cieplny odpowiada za konwersję promieniowania słonecznego w energię cieplną, która

służy dogrzewaniu c.w.u. (cieplej wody użytkowej) lub wspomaganie c.o. (centralnego ogrzewania), natomiast moduł PV zamienia energię słoneczną w energię elektryczną. Moduły podzielone są na: 3 ciągi (łańcuchy) po 6 modułów podłączonych do trackera MPP1 (tzn. pierwszego wejścia falownika z opcją śledzenia punktu mocy maksymalnej (MPP) dołączonych modułów PV) oraz MPP2 falownika hybrydowego. Przewidywany okres eksploatacji tej elektrowni fotowoltaicznej wynosi 25 lat. Wzrost temperatury na każdym module powoduje obniżenie generowanej mocy - jest to spadek rzędu ok. 0,5 % na każdy jeden stopień Celsjusza wzrostu temperatury. Temperatura normowa modułu to 25 °C. W kolektorze hybrydowym odbiór ciepła odbywa się za pośrednictwem płynu chłodzącego, który przepływa przez niego. Odprowadzenie ciepła powoduje zwiększenie wydajności konwersji promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Kolektor hybrydowy to postęp technologiczny - podwyższenie sprawności modułów fotowoltaicznych przy równoczesnej zamianie energii słonecznej na energię cieplną i elektryczną [21, 22].



Rys. 1. System PV

Fig. 1. The PV system

Energia elektryczna wytworzona w ogniwach PV zużywana jest tylko i wyłącznie do oświetlenia korytarzy budynku UO oprawami LED-owymi oraz do zasilania układów wentylacyjnych [21]. Zamontowane kolektory E-PVT 2,0 to hybryda (patrzy opis wyżej), w tej pracy zostanie rozpatrzona wyłącznie część energetyczna związana z produkcją energii elektrycznej. Jest to spowodowane ograniczeniami dostępu do danych związanych z produkcją ciepła przez takie właśnie rozwiązanie hybrydowe.

Falownik hybrydowy (trójfazowy), wysokonapięciowy firmy InfiniSolar 10 kW posiada funkcję gromadzenia energii oraz może dostarczyć energię do obciążających go urządzeń z wykorzystaniem np. zewnętrznej sieci elektroenergetycznej oraz z baterii akumulatorów (rys. 2) [21].



Rys. 2. Falownik i bateria akumulatorów

Fig. 2. The inverter and battery bank

Termomodernizacja i montaż urządzeń alternatywnych źródeł energii dla rozpatrywanego budynku zakończono w maju 2015 roku. Projekt został sfinansowany z funduszy europejskich w ramach realizacji działania nr 4.3. Ochrona powietrza, odnawialne źródła energii pt. „Termomodernizacja i montaż urządzeń odnawialnych źródeł energii - budynek dydaktyczny Uniwersytetu Opolskiego przy ul. Kominka 6 w Opolu” (rys. 3) [23].



Rys. 3. Tablica informacyjna o projekcie

Fig. 3. Information board about the project

Wyniki zbierano przez cały 2017 rok. Każdy ostatni dzień danego miesiąca (poza tymi, które wypadły w soboty lub niedziele - brak możliwości dostępu do wyników na uczelni - b.d.) był dniem rejestrowania wytworzonej energii elektrycznej przez instalację fotowoltaiczną. Zgrywanie wyników uzysków energetycznych każdego miesiąca

przeprowadzono z wykorzystaniem dedykowanego programu komputerowego SolarPower 1.07.

Ocenę pracy systemu wykonano na podstawie literaturowej analizy energetycznej [24, 25] i ekologicznej [26] z uwzględnieniem usłonecznienia (usłonecznienie to liczba godzin padania promieni słonecznych na dowolny punkt powierzchni Ziemi w ciągu roku, wyrażona w jednostce [h/rok]).

Analiza energetyczna opiera się na danych produkcji i zużycia energii elektrycznej przez budynek. Dane dotyczące zużycia prądu zostały dostarczone przez Dział Techniczny (DT) Uniwersytetu Opolskiego w ramach współpracy.

Wyniki badań i ich analiza

Przez uzysk energetyczny rozumie się ilość energii elektrycznej wygenerowanej przez system instalacji fotowoltaicznej w danym okresie [27]. W tabeli 1 przedstawiono wyniki dziennych uzysków energetycznych z dodatkiem sumy kilowatogodzin prądu wyprodukowanego w całym miesiącu z instalacji fotowoltaicznej.

Tabela 1

Uzysk energetyczny z instalacji fotowoltaicznej w 2017 roku [kWh]

Table 1

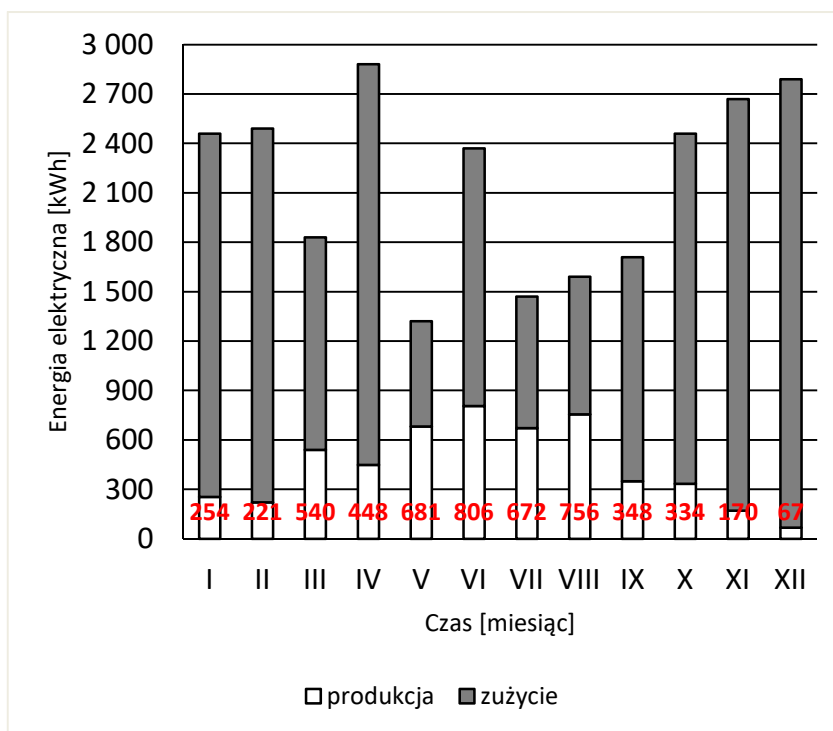
Energy yield from the photovoltaic installation in 2017 [kWh]

Miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Dzień												
1	12,7	2,68	19,2	35,6	37,7	38,5	29,3	32,4	0,99	30,6	0,59	8,34
2	0,16	7,51	14,9	31,8	6,85	37,5	15,4	16,7	6,32	30,8	0,59	0,31
3	0,82	5,91	28,9	6,36	6,64	36,4	25,6	20,3	1,91	0,74	2,30	0,53
4	3,42	1,42	24,6	23,9	8,65	22,3	23,8	11,2	29,6	16,0	21,2	0,68
5	4,68	0,94	11,8	3,57	12,0	32,8	19,6	34,7	4,31	1,03	19,7	0,37
6	7,13	0,68	14,8	15,0	8,94	18,8	28,6	17,4	12,5	11,6	0,74	0,05
7	11,2	0,65	7,73	4,40	8,39	35,1	14,5	31,6	21,8	12,9	0,50	12,2
8	12,9	3,17	30,8	18,0	19,9	36,5	23,7	36,4	25,2	2,93	0,57	0,58
9	2,22	2,71	2,28	19,9	14,5	36,6	26,4	30,9	29,6	18,3	1,87	5,71
10	13,2	8,99	3,91	37,2	22,7	12,9	21,3	29,8	10,8	2,47	1,56	11,4
11	15,9	10,9	15,1	15,3	36,8	35,5	13,1	27,8	10,5	5,64	9,47	1,17
12	4,95	17,0	10,3	11,1	12,7	18,0	26,2	13,0	13,3	15,0	10,6	1,74
13	2,66	1,69	24,3	11,8	26,4	26,4	21,2	23,4	21,3	11,3	1,43	12,3
14	8,92	10,3	26,6	27,7	36,3	22,9	26,5	17,0	17,6	10,9	12,2	4,73
15	12,0	22,5	15,5	13,8	16,6	35,0	18,3	34,7	10,7	23,6	1,07	0,41
16	1,94	24,1	23,5	23,5	24,8	20,3	36,0	26,8	2,73	27,4	14,4	0,26
17	0,00*	2,31	15,4	14,4	31,5	4,32	16,5	27,9	1,13	24,0	2,36	2,64
18	1,86	1,26	4,83	3,41	37,0	24,4	31,4	27,8	26,5	18,6	11,6	3,37
19	1,45	11,0	27,0	8,39	36,6	35,4	29,1	5,31	10,7	8,12	6,50	0,69
20	3,84	12,3	4,87	8,66	4,43	35,3	19,0	7,24	2,45	15,1	3,88	b.d.
21	2,48	2,43	10,7	22,0	28,9	36,4	9,7	22,0	3,83	6,50	1,56	b.d.
22	18,4	1,71	1,44	20,8	32,6	32,0	27,4	20,0	5,13	1,34	0,51	b.d.
23	19,1	1,11	3,04	24,7	29,0	17,1	21,1	21,8	0,07	3,17	14,8	b.d.
24	0,49	4,35	8,40	29,2	13,4	27,1	13,2	32,3	5,34	2,54	13,4	b.d.
25	0,35	18,8	23,6	11,0	16,0	28,9	14,0	24,5	12,2	3,20	3,04	b.d.
26	7,01	3,92	36,7	2,74	29,7	11,7	20,4	24,5	10,1	8,80	2,58	b.d.

Miesiąc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Dzień												
27	20,6	30,0	37,1	3,05	32,0	25,3	7,79	22,3	20,7	3,93	6,62	b.d.
28	21,5	10,6	36,3	0,72	36,9	27,0	20,3	27,0	27,2	1,39	1,02	b.d.
29	20,4	-	21,2	b.d.	19,3	25,0	28,1	35,2	3,74	3,56	2,99	b.d.
30	21,6	-	13,9	b.d.	27,6	10,7	35,5	35,1	b.d.	10,1	0,002	b.d.
31	0,34	-	21,1	-	6,88	-	9,20	18,6	-	2,17	-	b.d.
Suma	254	221	540	448	681	806	672	756	348	334	170	67

b.d. - brak danych, * - awaria systemu

Dane zużycia energii elektrycznej od DT zebrano i zestawiono z miesięcznymi uzyskami energetycznymi, co przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Bilans energetyczny w 2017 roku

Fig. 4. Energy balance in 2017

Wytworzona energia elektryczna wykorzystywana jest przede wszystkim do oświetlania sal dydaktycznych, jak również pomieszczeń sanitarnych, gospodarczych i administracyjnych. Dodatkowo prąd zasila urządzenia RTV, drobny sprzęt AGD, a także wentylację. W pracowniach warsztatowych pracują różne maszyny (np. tokarki), które również zużywają energię elektryczną. Najmniejsze zużycie energii elektrycznej przypada

na miesiące wiosenno-letnie. W okresie wakacyjnym mniejsze zużycie energii w stosunku do pozostałych miesięcy jest wynikiem okresu urlopowego i zaprzestania lub ograniczenia prowadzonych prac. Najwięcej energii elektrycznej zużywane jest w okresie zimowym - w krótkie i ciemne dni - głównie na potrzeby oświetlenia.

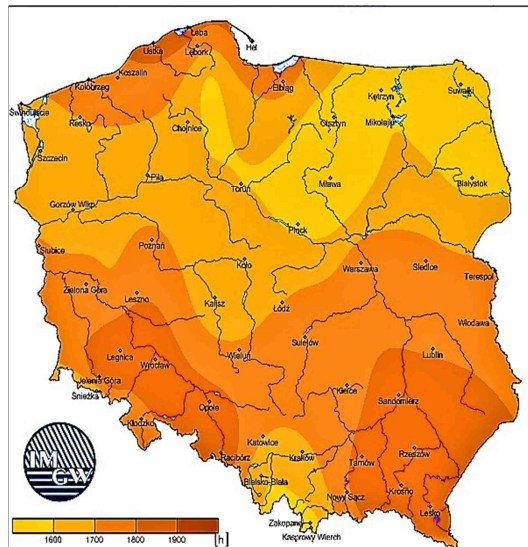
Tabela 2

Stopień pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną przez instalację PV

Table 2

The degree of coverage of electricity demand by PV system

Miesiąc	Uzysk [kWh]	Zużycie [kWh]	Pokrycie [%]
Styczeń	254	2460	10,3
Luty	221	2490	8,88
Marzec	540	1830	29,5
Kwiecień	448	2880	15,5
Maj	681	1320	51,6
Czerwiec	806	2370	34,0
Lipiec	672	1470	45,7
Sierpień	756	1590	47,5
Wrzesień	348	1710	20,4
Październik	334	2460	13,6
Listopad	170	2670	6,36
Grudzień	67	2790	2,42
Suma	5297	26040	-
Średnia	441	2170	20,3

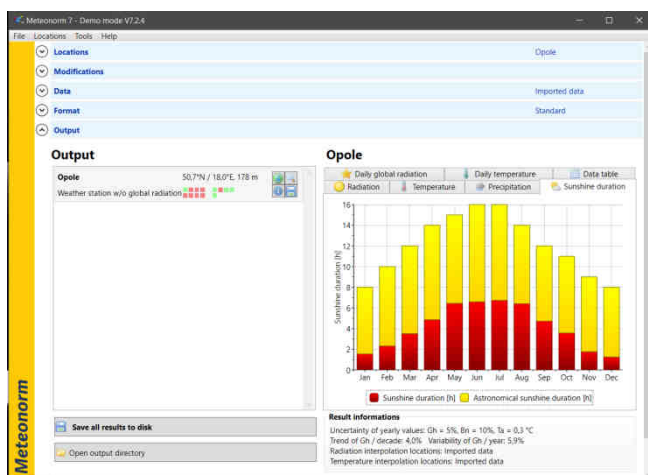


Rys. 5. Usłonecznienie Polski w 2017 roku [28]

Fig. 5. Sunshine duration in Poland in 2017 [28]

W tabeli 2 przedstawiono wyniki procentowego pokrycia zapotrzebowania energii elektrycznej przez system fotowoltaiczny. Jak można zauważyć, system PV nie pokrywa całościowego zapotrzebowania na energię elektryczną (projekt obejmował jedynie częściowe jego pokrycie). Niemniej jednak, ta mikroinstalacja charakteryzuje się dobrym uzyskiem energetycznym, na co wpływ mają bezpośrednio warunki słoneczne, jakie panują na Opolszczyźnie (rys. 5).

Usłonecznienie opisuje warunki pogodowe, a nie zasoby energii słonecznej. Usłonecznienie średnie dla Polski wynosi około 1580 h/rok [29]. Na rysunku 5 widać, że w ubiegłym roku Opole znajdowało się w strefie zakresu 1800-1900 godzin usłonecznienia. Dodatkowo przedstawiono to na rysunku 6, gdzie usłonecznienie dla samego miasta Opola zaprezentowano, wykorzystując oprogramowanie Meteonorm 7.2.



Rys. 6. Usłonecznienie Opola w 2017 roku [30]

Fig. 6. Sunshine duration in Opole in 2017 [30]

Jeżeli zaś chodzi o ekologiczny aspekt inwestycji, to wskaźnik emisji dla wyprodukowanej energii elektrycznej w źródłach spalania (ze wszystkich paliw) wynosi 806 kg CO₂/MWh [26] - tabela 3.

Wskaźniki emisyjności dla energii elektrycznej wyprodukowanej w instalacjach spalania [26]

Tabela 3

Emission indicators for electricity produced in combustion installations [26]

Table 3

Wskaźnik	Wartość wskaźnika [kg/MWh]
CO ₂	806
SO ₂	0,844
NO _x	0,850
CO	0,260
TSP*	0,054

* - pył całkowity

Na podstawie danych KOBiZE oraz własnych wyliczeń należy stwierdzić, iż redukcja w skali roku to 4,27 Mg ditlenku węgla (tab. 4) z tytułu produkcji prądu przez system fotowoltaiczny, a niedostarczony przez zakład energetyczny. Dzięki 25-letniej pracy tego systemu nie zostanie wyemitowanych 108 Mg CO₂ do atmosfery.

Dodatkowo, wyniki redukcji substancji szkodliwych zostały w tabeli 4 zestawione z emisją największego emitenta na Opolszczyźnie - Elektrowni Opole (wyniki te pochodzą z zeszłorocznej deklaracji środowiskowej EMAS 2017 [31]). Dane te pokazują, że pojedyncza instalacja OZE charakteryzuje się wprawdzie redukcją substancji szkodliwych, jednak nie ma możliwości konkurowania z elektrownią, aby zredukować jej emisję. Niemniej jednak, gdyby takich instalacji było więcej, np. ok. 1400, to ich wpływ środowiskowy mógłby pod względem ekologicznym zniwelować roczną emisję ditlenku węgla do atmosfery.

Tabela 4

Redukcja wybranych substancji w wyniku funkcjonowania systemu PV

Table 4

Reduction of selected substances as a result of work of the PV system

Wskaźnik	Redukcja 2017 [kg]	Emisja Elektrowni Opole 2016 [Mg] [31]
CO ₂	4 272	5 917 008
SO ₂	4,47	2 743
NO _x	4,51	4 491
CO	1,38	625
TSP	0,29	183

Podsumowanie i wnioski

Alternatywne źródła energii to konkurencja, alternatywa i perspektywa wobec wykorzystywania surowców naturalnych wydobywanych z ziemi. Stopień ich wykorzystania w państwie polskim zwiększa się [32], mimo iż prawodawstwo oraz polityka energetyczna nie zakładają udziału OZE jako priorytetu. Rozwój tych technologii pozwoli na reformy i na udoskonalenie prawa wspólnotowego UE w tym zakresie [33]. Degradacja środowiska oraz zwiększający się udział zanieczyszczenia gazami cieplarnianymi stanowi szansę dla wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych do walki z ociepleniem klimatu.

Badanie efektywności instalacji PV miało na celu ocenę sprawności tego systemu fotowoltaicznego na dwóch polach: pod wpływem uzysków energetycznych oraz osiągniętych redukcji emisyjnych CO₂ i innych gazów.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że:

1. instalacja fotowoltaiczna zapewnia tylko częściowe pokrycie zapotrzebowania zużycia energii elektrycznej na poziomie ok. 20 %;
2. ustawienie kolektorów E-PVT 2,0 w kierunku południowym dla warunków klimatycznych miasta Opole przyniosło uzyski energetyczne w wielkości 5,30 MWh/rok;
3. zainstalowanie kolektorów hybrydowych spowodowało redukcję emisji ditlenku węgla na poziomie 4,27 Mg CO₂/rok, a także ok. 108 Mg CO₂ w ciągu 25 lat funkcjonowania instalacji.

Literatura

- [1] Eleftheriadis IM, Anagnostopoulou EG. Identifying barriers in the diffusion of renewable energy sources. *Energy Policy*. 2015;80:153-164. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.01.039.
- [2] Stigka EK, Paravantis JA, Mihalakakou GK. Social acceptance of renewable energy sources: A review of contingent valuation applications. *Renew Sust Energy Rev*. 2014;32:100-106. DOI: 10.1016/j.rser.2013.12.026.
- [3] Bhattacharya M, Paramati SR, Ozturk I, Bhattacharya S. The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Appl Energy*. 2016;162:733-741. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.10.104.
- [4] Amponsah NY, Troldborg M, Kington B, Aalders I, Lloyd Hough R. Greenhouse gas emissions from renewable Energy sources: A review of lifecycle considerations. *Renew Sust Energy Rev*. 2014;39:461-475. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.087.
- [5] Jaforullah M, King A. Does the us of renewable energy sources mitigate CO₂ emissions? A reassessment of the US evidence. *Energy Econom*. 2015;49:711-717. DOI: 10.1016/j.eneco.2015.04.006.
- [6] Stanek W, Czarnowska L, Gazda W, Simla T. Thermo-ecological cost of electricity from renewable energy sources. *Renew Energy*. 2018;115:87-96. DOI: 10.1016/j.renene.2017.07.074.
- [7] Ellabban O, Abu-Rub H, Blaabjerg F. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renew Sust Energy Rev*. 2014;39:748-764. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.113.
- [8] Owusu PA, Sarkodie SA. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Eng*. 2016;3:2-14. DOI: 10.1080/23311916.2016.1167990.
- [9] Weitemeyer S, Kleinhans D, Vogt T, Agert C. Integration of renewable energy sources in future power systems: The role of storage. *Renew Energy*. 2015;75:14-20. DOI: 10.1016/j.renene.2014.09.028.
- [10] Wu D, Tang F, Dragicevic T, Vasquez JC, Guerrero JM. A control architecture to coordinate renewable energy sources and energy storage systems in islanded microgrids. *IEEE Trans Smart Grid*. 2015;6(3):1156-1166. DOI: 10.1109/TSG.2014.2377018.
- [11] Igliński B, Iglińska A, Koziński G, Skrzatk M, Buczkowski R. Wind energy in Poland - history, current state, surveys, renewable energy sources act, SWOT analysis. *Renew Sust Energy Rev*. 2016;64:19-33. DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.081.
- [12] Paska J, Surma T. Electricity generation from renewable energy sources in Poland. *Renew Energy*. 2014;71:286-294. DOI: 10.1016/j.renene.2014.05.011.
- [13] Hosenuzzaman M, Rahim NA, Selvaraj J, Hasanuzzaman M, Malek ABMA, Nahar A. Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. *Renew Sust Energy Rev*. 2015;41:284-297. DOI: 10.1016/j.rser.2014.08.046.
- [14] Dujardin J, Kahl A, Krut B, Bartlett S, Lehning M. Interplay between photovoltaic, wind energy and storage hydropower in a fully renewable Switzerland. *Energy*. 2017;135:513-525. DOI: 10.1016/j.energy.2017.06.092.
- [15] Karakaya E, Sriwannawit P. Barriers to the adoption of photovoltaic systems: The state of the art. *Renew Sust Energy Rev*. 2015;49:60-66. DOI: 10.1016/j.rser.2015.04.058.
- [16] Cucchiella F, D'Adamo I. Residential photovoltaic plant: environmental and economical implications from renewable support policies. *Clean Techn Environ Policy*. 2015;17:1929-1944. DOI: 10.1007/s10098-015-0913-1.
- [17] Rodziewicz T, Zaremba A, Waclawek M. Wpływ rozkładu widma promieniowania słonecznego na parametry multikrystalicznego ogniwa krzemowego. *Proc ECOpole*. 2014;8(2):571-577. DOI: 10.2429/proc.2014.8(2)072.
- [18] Matuszczyk P, Popławski T, Flasz J. Wpływ natężenia promieniowania słonecznego i temperatury modułu na wybrane parametry i moc znamionową paneli fotowoltaicznych. *Przegląd Elektrotech*. 2015;91(12):159-162. DOI: 10.15199/48.2015.12.40.
- [19] Rezaee Jordehi A. Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells: A review. *Renew Sust Energy Rev*. 2016;61:354-371. DOI: 10.1016/j.rser.2016.03.049.
- [20] Kazem HA, Chaichan MT, Alwaeli AH, Mani K. Effect of shadows on the performance of solar photovoltaic. Chapter 27 In: Sayigh A, editor. *Mediterranean Green Buildings & Renewable Energy*. Springer Int Publ AG; 2017:379-385. DOI: 10.1007/978-3-319-30746-6_27.
- [21] Ożóg D, Ożóg K. Projekt budowlano-wykonawczy: Termomodernizacja i montaż urządzeń odnawialnych źródeł energii, Instalacja ogniw fotowoltaicznych. Pieszyce: Pracownia Projektowania i Nadzorów Elektrycznych; 2015.

- [22] EcoJura. Kolektory słoneczne. <http://www.ecojura.pl/content.php?ContentId=73>.
- [23] Regionalny Program Operacyjny Województwa Opolskiego. <http://rpo2007-2013.opolskie.pl/rpo/index.php?id=7875>.
- [24] Mroziński A. Badanie efektywności energetycznej laboratoryjnej instalacji fotowoltaicznej. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*. 2014;61(3):357-366. DOI: 10.7862/rb.2014.102.
- [25] Talavera DL, de la Casa J, Muñoz-Cerón E, Almonacid G. Grid parity and self-consumption with photovoltaic systems under the present regulatory framework in Spain: The case of the University of Jaén Campus. *Renew Sust Energy Rev*. 2014; 33:752-771. DOI: 10.1016/j.rser.2014.02.023.
- [26] Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami KOBiZE. Wskaźniki emisyjności CO₂ dla energii elektrycznej u odbiorców końcowych. Kraków 2017. http://www.kobize.pl/uploads/materialy/materialy_do_pobrania/wskazniki_emisyjnosci/180108_wskazniki_spalanie_na_mwh.pdf.
- [27] Jurasz J, Krzywda M, Mikulik J. Wykorzystanie fotowoltaiki w warunkach solarnych miasta Krakowa - wstępne stadium wykonalności dla budynku użyteczności publicznej - budynek wydziału uczelni wyższej. Napędy i Sterowanie. 2013;12:73-77. http://beta.nis.com.pl/userfiles/editor/nauka/122013_n/Mikulik_12-2013.pdf.
- [28] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. <http://old.imgw.pl/klimat/>.
- [29] Matuszczyk P, Popławski T, Flaszka J. Potencjał i możliwości energii promieniowania elektromagnetycznego Słońca. *Przegląd Elektrotech*. 2015;91(1):183-187. DOI: 10.15199/48.2015.01.41.
- [30] Meteonorm 7.2.4. <http://www.meteonorm.com/en/downloads>.
- [31] Deklaracja Środowiskowa EMAS Oddział Elektrownia Opole 2017. <https://elopole.pgegiek.pl/Ochrona-srodowiska/Deklaracja-srodowiskowa>.
- [32] Ingaldi M, Brožová S. Renewable energy sources in Poland. 2013:58-68. <https://depot.ceon.pl/bitstream/handle/123456789/3353/D%2005%20-%20Ingaldi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [33] Hills JM, Michalena E. Renewable energy pioneers are threatened by EU policy reform. *Renew Energy*. 2017;108:26-36. DOI: 10.1016/j.renene.2017.02.042.

ANNUAL EFFICIENCY OF A PV INSTALLATION MOUNTED ON THE ROOF OF THE UNIVERSITY OF OPOLE DIDACTIC BUILDING

¹ Chair of Process Engineering, University of Opole, Opole

² Chair of Biotechnology and Molecular Biology, University of Opole, Opole

Abstract: The objective of the carried out study was to analysis of operation and effectiveness assessment of the photovoltaic system installed on the roof of the University of Opole building located at Kominka 6 street in Opole. The scope of the study included an assessment of: power generation - energy yield (quantity of generated electricity and geographical location of photovoltaic panels) and ecological - reduction of emission of harmful substances not emitted to the atmospheric aerosol for the production of electricity by the PV installation and not provided by the coal-fired power plant. The studies showed good result of energy production during the year - 5.30 MWh energy from this system, and significant reduction of CO₂ emission to atmosphere - 4.27 Mg/year which indicates the ecological motivation of projects for the installation of renewable energy sources.

Keywords: renewable energy sources, photovoltaics, photovoltaic module, energy yield, ecology