

doi:10.15199/48.2017.01.41

Analiza parametrów elektrycznych systemów fotowoltaicznych różnych typów w warunkach rzeczywistych

Streszczenie. Artykuł przedstawia wyniki półtorarocznych badań i pomiarów parametrów elektrycznych instalacji fotowoltaicznych zainstalowanych w Parku Naukowo-Technologicznym Euro-Centrum Katowice. System wyposażony jest w połączone szeregowo moduły fotowoltaiczne różnych typów, które za pośrednictwem falowników przekazują energię elektryczną do sieci wewnętrznej budynków. Za pomocą urządzenia do monitoringu i archiwizacji danych, parametry elektryczne instalacji fotowoltaicznych przekazywane są do centrum gromadzenia danych, gdzie są magazynowane oraz udostępniane do obliczeń i analiz naukowych.

Abstract. The article presents the results of year and a half of tests and measurements of electrical parameters of photovoltaic systems installed in the Science and Technology Park Euro-Centrum Katowice. The system is equipped with a series-connected photovoltaic modules of different types, which through inverters transmit electrical energy to the inner buildings. Using a device for monitoring and archiving data, electrical performance of photovoltaic systems they are transmitted to the data collection center, where they are stored and made available for calculations and scientific analysis. (**Analysis of the electrical parameters of various types of photovoltaic systems under real conditions**).

Słowa kluczowe: instalacje fotowoltaiczne, budynek pasywny, budynek niskoenergetyczny, parametry elektryczne, OZE.

Keywords: photovoltaic installations, passive building, low-energy building, electrical parameters, RES.

Wstęp

Zgodnie z Krajowym Planem Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych, Polska zobowiązana jest do roku 2020 zwiększyć do 15% udział OZE w zużyciu energii końcowej brutto w sposób zrównoważony, uwzględniając wiele czynników, takich jak: zasoby odnawialnych źródeł energii i surowców do wytwarzania paliw oraz stanu systemu elektroenergetycznego. Plan określa krajowe cele dotyczące udziału energii ze źródeł odnawialnych w sektorach: transportowym, energii elektrycznej oraz ogrzewania

i chłodzenia w 2020r. z uwzględnieniem wpływu innych środków polityki efektywności energetycznej na końcowe zużycie energii. Określa ponadto środki, które należy podjąć dla osiągnięcia krajowych celów ogólnych w zakresie udziału OZE, w wykorzystaniu energii finalnej. Plan ten określa współpracę między organami władzy lokalnej,

regionalnej i krajowej, szacowaną nadwyżkę energii ze źródeł odnawialnych, która mogłaby zostać przekazana innym państwom członkowskim UE, strategię ukierunkowaną na rozwój istniejących zasobów biomasy i zmobilizowanie nowych zasobów biomasy do różnych zastosowań, a także środki, które należy podjąć w celu wypełnienia stosownych zobowiązań wynikających z dyrektywy 2009/28/WE. Najbardziej uniwersalnym i mającym najwięcej zastosowań rodzajem energii jest energia elektryczna. Fotowoltaika, natomiast stanowi narzędzie do pozyskiwania odnawialnej energii elektrycznej z promieniowania słonecznego - uznawana jest za technologię najbardziej przyjazną środowisku. Wytwarzaniu energii elektrycznej przez systemy ogniw słonecznych nie towarzyszą: żadne zanieczyszczenia emitowane do środowiska naturalnego, żadna degradacja krajobrazu, żadne zakłócenia funkcjonowania fauny i flory ani hałas.

Park Naukowo-Technologiczny EURO-CENTRUM Katowice

Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum w Katowicach powstał, w roku 2007 i zlokalizowany jest na terenie województwa śląskiego, które należy do najbardziej uprzemysłowionych regionów Polski z dynamicznie rozwijającą się gospodarką. Park mieści się w węźle europejskich korytarzy transportowych (autostrady A1, A4

i DTŚ) w bliskim sąsiedztwie międzynarodowego portu lotniczego Katowice-Pyrzowice.



Rys.1. Widok panoramiczny PNT Euro-Centrum Katowice [1]

Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum Katowice to ośrodek innowacyjny, skoncentrowany na poszanowaniu energii i wykorzystaniu jej odnawialnych źródeł energii, otwarty na współpracę z firmami prowadzącymi działalność innowacyjną, rozwojową lub badawczą. Do dyspozycji przygotowano ekologiczne, prestiżowe pomieszczenia biurowe i konferencyjne, zaplecze badawcze oraz nowoczesne centrum gromadzenia i przetwarzania danych. Wypełniając kryterium innowacyjności lokatorzy Parku Naukowo-Technologicznego mogą skorzystać z 30% ulgi na najem i usługi, zgodnie z zasadami udzielania pomocy publicznych - de minimis.

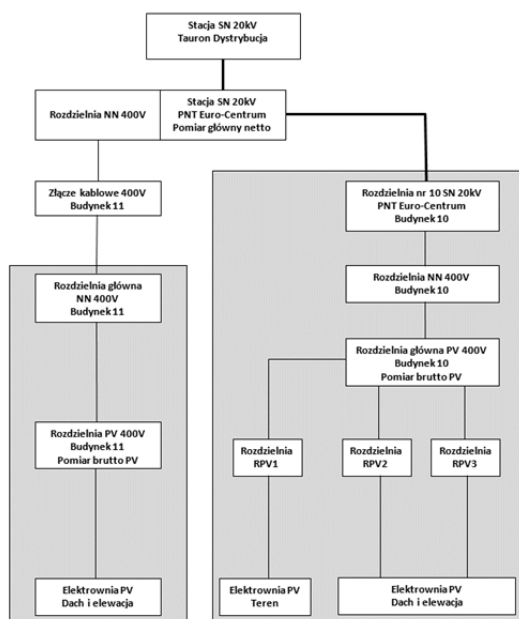
PNT Euro-Centrum Katowice dysponuje następującymi laboratoriami:

- **Stacja klimatyczno-meteorologiczna** – usytuowana jest na dachu budynku pasywnego nr 8, pozwala monitorować warunki atmosferyczne dla jego funkcjonowania. Ze względu na zainstalowane systemy fotowoltaiczne, szczególną uwagę przywiązuje się do pomiarów natężenia promieniowania słonecznego oraz sporządzania jego bilansu.
- **Centrum Testowania Systemów Solarnych** – stanowi laboratorium wewnętrzne stworzone na bazie symulatora natężenia promieniowania słonecznego, składającego się z pola lamp, sztucznego nieba, układu

wentylacyjnego, termostatu, czujników temperatury i urządzenia do generowania danych. Laboratorium przeznaczone jest do badania sprawności kolektorów słonecznych wykorzystujących mieszaninę wody i glikolu jako nośnika ciepła oraz paneli fotowoltaicznych.

- **Laboratorium inteligentnych sieci energetycznych** – laboratorium to pozwala testować integrowane i zarządzane systemy energetyczne budynku, znajdujące się w różnych lokalizacjach, wykorzystując różne metody obliczeniowe [2].
- **Laboratorium procesów w budownictwie energooszczędnym** – laboratorium to przeznaczone jest do prowadzenia testów na materiałach budowlanych pod kątem ich odporności na czynniki klimatyczne, korozję lub szybkość starzenia. Testy przeprowadzane są w specjalnych komorach, charakteryzujących się szerokim zakresem temperatur i wilgotności.
- **Laboratorium właściwości ciepłych budynków** – laboratorium to pozwala przeprowadzić gruntowną diagnostykę budynku, pod względem występowania mostków termicznych, szczelności, poziomu hałasu czy natężenia światła. Pozwala również sprawdzić jakość klimatu lub komfort cieplny w pomieszczeniu.

Stworzony na swoim terenie ośrodek innowacyjności stanowi miejsce dla lokalizacji firm zaawansowanych technologii i otoczenia biznesu. Park Naukowo-Technologiczny koordynuje działalność Klastra Technologii Energooszczędnych, w którym rozwija współpracę pomiędzy nauką i środowiskiem biznesu.



Rys.2. Schemat ideowy włączenia instalacji fotowoltaicznej PNT EURO-CENTRUM Katowice do sieci elektroenergetycznej

Budynek pasywny nr 8

Budynek ten został oddany do użytku w 2014 roku. W swojej działalności koncentruje się na rozwoju technologii energooszczędnych i OZE. W 5-kondygnacyjnym budynku o powierzchni użytkowej 7500m² zaplanowano nie tylko pomieszczenia administracyjno-biurowe, ale również sale konferencyjno-szkoleniowe oraz technologiczne laboratoria w tym laboratorium inteligentnych sieci energetycznych, stację klimatyczno-meteorologiczną oraz nowoczesne centrum gromadzenia i przetwarzania danych. Istotnym elementem budynku pasywnego są monokrystaliczne

panele fotowoltaiczne, umożliwiające produkcję energii elektrycznej.

Do urządzeń OZE budynku pasywnego zalicza się:

- 3 układy monokrystalicznych paneli fotowoltaicznych: panele dachowe - 231 modułów zamontowanych w układzie klasycznym pod kątem 30 stopni, panele na elewacjach - 108 modułów pionowych oraz 80 modułów w pasach międzyokiennych;
- system fotowoltaicznych trackerów - 36 ruchomych modułów, podążających za pozornym ruchem Słońca;
- sondy geotermalne umieszczone w pionowych odwiertach na głębokości ok. 50m, które pozyskują energię z wnętrza ziemi wykorzystywaną do procesów grzewczych oraz chłodzenia budynku;
- 6 pomp ciepła, ogrzewających budynek poprzez podnoszenie temperatury wody w instalacji i przekazywanie jej do systemu stropów grzewczo-chłodzących;
- 10 kolektorów słonecznych wykorzystujących energię promieniowania słonecznego i zamieniających ją na ciepło, które transportowane jest do środka budynku ogrzewając wodę użytkową (ciecz) w zbiornikach akumulacyjnych.



Rys.3. Widok budynku pasywnego nr 8 w PNT Euro-Centrum Katowice

Moc całej instalacji fotowoltaicznej budynku pasywnego to ok. 107kWp, co w założeniu ma pokryć roczne zapotrzebowanie na energię systemów technologicznych budynku, a więc ogrzewania, chłodzenia i wentylacji.

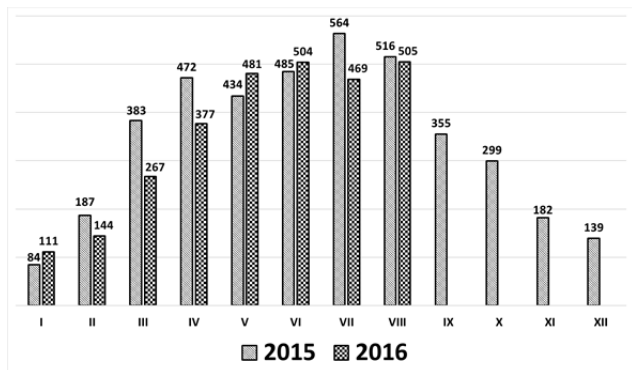
Oprócz odnawialnych źródeł energii, budynek pasywny w PNT Euro-Centrum Katowice został wyposażony w rozwiązania pozwalające w maksymalny sposób oszczędzać energię zużywaną przez ten obiekt, jak również zapewnić komfort jego użytkownika.

Tabela 1. Zestawienie monokrystalicznych paneli fotowoltaicznych rozmieszczonych na budynku pasywnym nr 8

Obiekt	Ilość modułów [szt.]		Moc zainstalowana [kWp]	Prognoza uzysku energii [kWh/rok]
	ASUN 240Wp	CPS 185Wp		
Dach 1	135	0	32,40	31809
Dach 2	96	0	23,04	22567
Elewacja 1 pd-wsch Pionowo 90°/10°	54	0	12,96	8019
Elewacja 2 pd-zach Pionowo 90°/30°	54	0	12,96	7793
Elewacja 1 pd-wsch Na stojakach 45°/10°	40	0	9,60	9262
Elewacja 2 pd-zach Na stojakach 45°/30°	40	0	9,60	9078
3 x Tracker ST2000	0	36	6,66	7956
RAZEM	455		107,220	96484

Tabela 2. Parametry techniczne monokrystalicznych paneli fotowoltaicznych firmy A-SUN Energy rozmieszczonych na budynku pasywnym nr 8

Parametry elektryczne	ASUN 240Wp	CPS 185Wp
Moc nominalna modułu (P_{mpg})	240Wp	185Wp
Napięcie nominalne modułu (V_{mpg})	29,80V	36,90V
Napięcie obwodu otwartego (V_{oc})	37,30V	33,50V
Prąd nominalny modułu (I_{mpg})	8,05A	5,01A
Prąd zwarcia modułu (I_{sc})	8,70A	5,31A
Maksymalne napięcie pracy	1000V	1000V
Szerokość modułu	1000mm	808mm
Wysokość modułu	1652mm	1580mm
Waga modułu	20kg	14,8kg



Rys.4. Ilość wyprodukowanej energii elektrycznej w kWh miesięcznie od stycznia 2015r. do sierpnia 2016r. w budynku nr 8 PNT Euro-Centrum Katowice

Budynek nr 10

Pod względem konstrukcji i efektywności budynek ten odpowiada standardom budynków niskoenergetycznych. Powierzchnia budynku wynosi ok. 3000m², z czego 1500m² zajmuje powierzchnia wdrożeniowa.



Rys.5. Widok budynku nr 10 w PNT Euro-Centrum Katowice

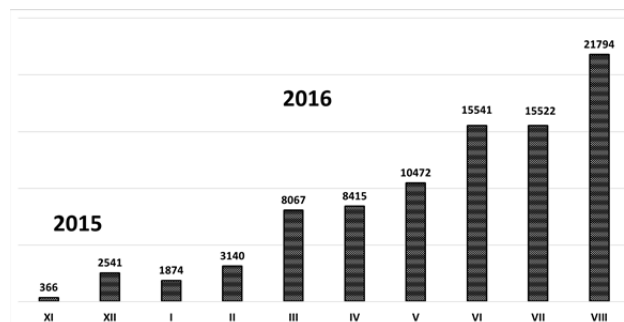
Tabela 3. Zestawienie monokrystalicznych paneli fotowoltaicznych rozmieszczonych na budynku nr 10

Obiekt	Ilość modułów [szt.]	Moc PV [kWp]	Moc panela PV [Wp]
Teren	135	33,75	250
	67	17,09	255
	67	17,42	260
Razem	269	68,26	
Elewacja	54	14,31	265
	112	29,12	260
	80	20,00	250
Razem	246	63,43	
Dach	148	37	250
	78	20,28	260
	74	19,61	265
Razem	300	76,89	
RAZEM	815	208,58	

Zapotrzebowanie energetyczne budynku na cele grzewcze szacowane jest na poziomie ok. **40kW/m²/rok**. Ogniwa fotowoltaiczne umieszczone są na dachu, elewacji południowej oraz w formie stacjonarnej przed budynkiem. Moduły wykonane są w technologii monokrystalicznej i wykazują różne moce, wśród nich m.in. moduły ramkowe oraz moduły typu szkło-szkło, wszystko dla celów naukowo-badawczych, porównania różnych technologii i wpływu usytuowania na ich efektywność energetyczną.

Tabela 4. Parametry techniczne monokrystalicznych paneli fotowoltaicznych BEM 250Wp firmy BRUK-BET SOLAR rozmieszczonych na budynku nr 10

Parametry elektryczne	BEM 250Wp
Moc nominalna modułu (P_{max})	250Wp
Ilość ogniw	60
Prąd zwarcia modułu (I_{sc})	8,80A
Napięcie obwodu otwartego (V_{oc})	37,90V
Prąd maksymalny (I_{max})	8,28A
Napięcie maksymalne (V_{max})	30,25V
Wydajność	15,40%
Maksymalne napięcie pracy	1000V
Szerokość modułu	992mm
Wysokość modułu	1640mm
Waga modułu	18kg



Rys.6. Ilość wyprodukowanej energii elektrycznej w kWh miesięcznie od listopada 2015r. do sierpnia 2016r. w budynku nr 10 PNT Euro-Centrum Katowice

Budynek nr 11

Budynek ten ma przeznaczenie montażowo-usługowe, a jego powierzchnia obejmuje ok. 1200m². Przyjęte rozwiązania architektoniczne i technologiczne powodują, że jest to obiekt niskoenergetyczny, którego zapotrzebowanie na energię grzewczą **nie przekracza 40kWh/m²/rocznie**.

Ważnym elementem tego budynku jest instalacja fotowoltaiczna zbudowana z ponad **1000 polikrystalicznych** paneli fotowoltaicznych, co łącznie pozwala uzyskać ok. **350kWp** mocy. To czyni z niej jedną z największych badawczych instalacji fotowoltaicznych w Polsce.



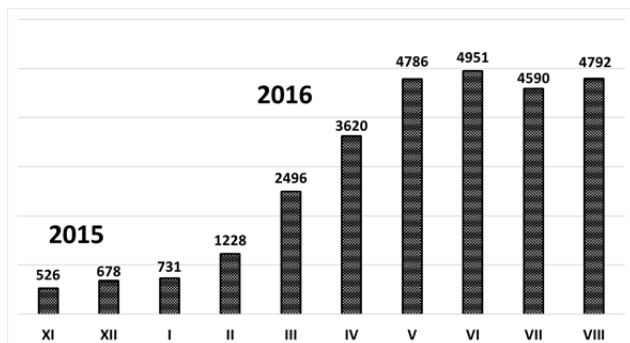
Rys.7. Widok budynku nr 11 w PNT Euro-Centrum Katowice

Tabela 5. Zestawienie polikrystalicznych paneli fotowoltaicznych rozmieszczonych na budynku nr 11

Obiekt	Ilość modułów [szt.]	Moc PV [kWp]	Moc panela PV [Wp]
Dach – panele ramkowe, kąt nachylenia 15° (1640x992x38mm)	117	29,25	250
Elewacja – panele bez-ramkowe (1667x970x5mm)	71	17,75	250
RAZEM	188	47	

Tabela 6. Parametry techniczne polikrystalicznych paneli fotowoltaicznych BEP 250Wp firmy BRUK-BET SOLAR rozmieszczonych na budynku nr 11

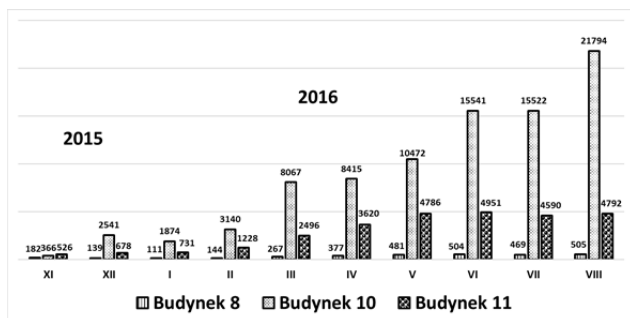
Parametry elektryczne	BEP 250Wp
Moc nominalna modułu (P_{max})	250Wp
Ilość ogniw	60
Prąd zwarcowy modułu (I_{sc})	8,75A
Napięcie obwodu otwartego (V_{oc})	38,10V
Prąd maksymalny (I_{max})	8,25A
Napięcie maksymalne (V_{max})	30,35V
Wydajność	15,40%
Maksymalne napięcie pracy	1000V
Szerokość modułu	970mm
Wysokość modułu	1667mm
Waga modułu	17kg



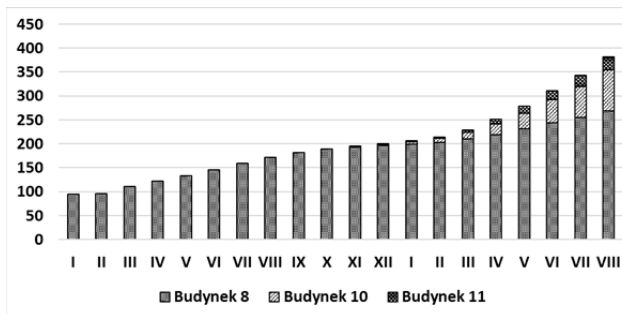
Rys.8. Ilość wyprodukowanej energii elektrycznej w kWh miesięcznie od listopada 2015r. do sierpnia 2016r. w budynku nr 11 PNT Euro-Centrum Katowice

Podsumowanie

Przedstawiona analiza jest wynikiem półtorarocznego monitoringu instalacji fotowoltaicznych w PNT Euro-Centrum Katowice, złożonych z różnych typów paneli fotowoltaicznych, zorientowanych pod różnym kątem i umieszczonych w różnych lokalizacjach. Takie sposoby montażu wynikają z zamiaru regularnego porównywania uzysków energii z każdej technologii i lokalizacji.



Rys.9. Ilość wyprodukowanej energii elektrycznej w kWh miesięcznie przez różne budynki od listopada 2015r. do sierpnia 2016r. PNT Euro-Centrum Katowice



Rys.10. Ilość energii elektrycznej w MW narastająco od początku uruchomienia poszczególnych systemów fotowoltaicznych w PNT Euro-Centrum Katowice

Powyższe zestawienia potwierdzają oczywistą tezę, że w warunkach klimatycznych naszego kraju, największy uzysk energetyczny z fotowoltaiki możliwy jest w miesiącach letnich i wiosennych oraz wczesną jesienią.

Budynek 10 z racji, że ma największą zainstalowaną moc instalacji PV generuje najwięcej energii elektrycznej, która w pierwszej kolejności przeznaczona jest na potrzeby własne. Różnice klimatyczne i lokalizacja systemów fotowoltaicznych znacząco wpływają na sprawność paneli PV, dlatego niezbędne jest ciągłe i długookresowe monitorowanie systemów fotowoltaicznych.

Autorzy: mgr inż. Paweł Matuszczyk, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: pawelmatuszczyk@windowslive.com; dr hab. inż. Tomasz Popławski Prof. PCz, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: poptom@el.pcz.czest.pl; dr inż. Janusz Flaszka, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: januszflaszka@o2.pl.

LITERATURA

- [1] Krajowy Plan Działania w Zakresie Energii ze Źródeł Odnawialnych, Warszawa 2010
- [2] Prauzner T., Finite Element Method in an analysis of selected parameters of an inductive sensor for protective coatings measurements, Przegląd Elektrotechniczny, 91 (2015), nr 12, 205-208 ISSN 0033-2097
- [3] www.cdr.gov.pl
- [4] www.cire.pl
- [5] www.euro-centrum.com.pl
- [6] www.ligocka103.pl
- [7] www.paiz.gov.pl
- [8] www.solar.bruk-bet.pl